



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 146599

**RENCANA EKSPLOITASI PENGGUNAAN AIR
OPTIMUM PADA SUB-SISTEM WADUK
WONOREJO UNTUK KEPENTINGAN IRIGASI
PAINGAN, PLTA WONOREJO DAN PLTA
TULUNGAGUNG SELATAN.**

**ETTIE DWI PRATIWI
NRP. 3116.040.525**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Suharjoko, MT
NIP. 19560119 198403 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 146599

**RENCANA EKSPLOITASI PENGGUNAAN AIR
OPTIMUM PADA SUB-SISTEM WADUK
WONOREJO UNTUK KEPENTINGAN IRIGASI
PAINGAN, PLTA WONOREJO DAN PLTA
TULUNGAGUNG SELATAN.**

**ETTIE DWI PRATIWI
NRP. 3116.040.525**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Suharjoko, MT
NIP. 19560119 198403 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT - RC 146599

**OPTIMUM WATER OPERATIONAL USE PLAN
OF WONOREJO DAM SUB-WEATHER FOR
INTEREST IRRIGATION OF FACILITIES,
WONOREJO PLTA AND SOUTH
TULUNGAGUNG PLTA.**

ETTIE DWI PRATIWI
NRP. 3116.040.525

Academic Supervisor
Dr. Ir. Suharjoko, MT
NIP. 19560119 198403 1 001

**DIPLOMA IV PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING IN ADVANCED
(EXTENDED) LEVEL
DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

**LEMBAR PENGESAHAN
RENCANA EKSPLOITASI PENGGUNAAN AIR
OPTIMUM PADA SUB-SISTEM WADUK WONOREJO
UNTUK KEPENTINGAN IRIGASI PAINGAN, PLTA
WONOREJO DAN PLTA TULUNGAGUNG SELATAN
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan
Pada

Program Studi Diploma IV Lanjut Jenjang Teknik Sipil
Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Mahasiswa



ETTIE DWI PRATIWI

NRP. 3116.040.525

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Proyek Akhir :

Dosen Pembimbing



27 JUL 2017

Dr. Ir. Suharijoko, MT.

NIP. 19560119 198403 1 001

Surabaya, 24 Juli 2017











KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Ektie Dwi Pratiwi. 2
NRP : 1 3116 040 525. 2
Judul Tugas Akhir : Rencana Eksploitasi penggunaan air yang optimum pada waduk Wonorejo untuk kepentingan Irigasi & PLTA.
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Suharyoko, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan			
1.	27 Februari 2017	→ Mencari referensi menghitung R.Andalon → Cek ulang perhitungan DR (-) → Revisi dan Pola tiap bulannya.			B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.	13 Maret 2017.	Dari data given coba bikin grafik Bgs sesuai dg keb.					
					B	C	K
3	6 April 2017	Input constant & untuk kebutuhan Air irigasi (DI Puncung). Grafik Inflow + Outflow.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	13 April 2017.	Optimasi Berbasis Tangga Mass Curve waduk (Inflow & Outflow).			B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	2/5/2017	Hitung sum air ke PLTA Tdg Gelas, buatkan opsi Q. Ketinggian ke PLTA → Hitung Y_s sum Lum PLTA Waduk.			B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6.	22/5/2017.						
7	24/6/2017.	Berapakah, Hub. ditiis Or masin sumber & masin listrik irigasi PLTA			B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Tertambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Ettie Dwi Pratiwi. 2
NRP : 1 3116 040 525. 2
Judul Tugas Akhir : Rencana eksploitasi penggunaan air yang optimum pada
waduk Wonorejo untuk kepentingan Irigasi k PLTA .
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Suharyoko, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
8	7 Juni 2017	1) Buat tabel dg pemikiran Mundur ke belakang. / Eksploitasi				
		2) Grafik hub in flow, outflow, dan Alt PLTA.		B	C	K
		3) Perhitungan Daya PLTA.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Tertelat dari jadwal

7



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG
 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
 037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 7/10/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Rencana Eksploitasi Penggunaan Air yang Optimum pada Waduk Wonorejo untuk Kepentingan Irigasi dan PLTA		
Nama Mahasiswa	Ettie Dwi Pratiwi	NRP	3116040525
Dosen Pembimbing 1	Dr. Ir. Suharjo, MT. NIP 19560119 198403 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1. Perbaiki judul TA menjadi "Rencana Eksploitasi Penggunaan Air yang Optimum pada Waduk Wonorejo untuk Kepentingan Irigasi dan PLTA"	
2. Konfirmasi ke dosen pembimbing mengenai isi TA	
3. Berikan arahan ke dosen pembimbing mengenai isi TA	Ir. Ismail Sa'ud, M.MT. NIP 19600517 198903 1 002
4. Uraikan penerapan opt. irigasi dan PLTA	
	Dr. Ir. Kuntjoro, MT. NIP 19580629 198703 1 002
	Tatas, ST., MT. NIP 19800621 200501 1 002
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Ismail Sa'ud, M.MT. NIP 19600517 198903 1 002	Dr. Ir. Kuntjoro, MT. NIP 19580629 198703 1 002	Tatas, ST., MT. NIP 19800621 200501 1 002	NIP -

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	

**RENCANA EKSPLOITASI PENGGUNAAN AIR
OPTIMUM PADA SUB-SISTEM WADUK WONOREJO
UNTUK KEPENTINGAN IRIGASI PAINGAN, PLTA
WONOREJO DAN PLTA TULUNGAGUNG SELATAN**

Nama Mahasiswa : ETTIE DWI PRATIWI
Nrp : 3116.040.525
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Suharjoko
NIP : 19560119 1984 1 001

ABSTRAK

Pertambahan penduduk dari tahun ke tahun semakin meningkat tanpa diiringi penambahan jumlah sumber air dan sifat penggunaan air pada masyarakat yang berlebihan saat penghujan. Sehingga diharapkan memanfaatkan air yang tersedia secara optimal terutama yang ada didalam waduk. Karena air yang ada didalam waduk dapat berguna untuk meningkatkan produktifitas irigasi dan meningkatkan daya pada PLTA.

Dari hasil analisa optimasi irigasi dengan menggunakan *Microsoft Excel Add-Ins Solver*, dapat disimpulkan bahwa intensitas tanam mencapai 300% dengan pola tata tanam padi-padi-padi dan tebu sepanjang tahun yang berdampak keuntungan produksi mencapai Rp. 7.810.150.000. Setelah melakukan analisa optimasi penggunaan air untuk irigasi masih tersisa sehingga dapat dimanfaatkan untuk debit pembangkitan pada PLTA Tulungagung. PLTA Tulungagung mengalami peningkatan daya dari 14.73 MW menjadi 16.23 MW. Dan pada PLTA Wonorejo juga mengalami peningkatan daya dari 3.77 MW menjadi 3.83 MW. Sehingga debit kebutuhan eksisting 15.36 m³/detik sedangkan debit kebutuhan rencana 24.84 m³/detik yang masih mampu tertampung di waduk wonorejo yang berkapasitas efektif 97 juta m³.

Kata Kunci : Solver, Optimasi irigasi, Daya PLTA

**OPTIMUM WATER OPERATIONAL USE PLAN OF
WONOREJO DAM SUB-WEATHER FOR INTEREST
IRRIGATION OF FACILITIES, WONOREJO PLTA AND
SOUTH TULUNGAGUNG PLTA**

Nama Mahasiswa : ETTIE DWI PRATIWI
Nrp : 3116.040.525
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Suharjoko
NIP : 19560119 1984 1 001

ABSTRACT

Population increase from year to year increasing without accompanied by the addition of the amount of air source and the nature of the use of air in the community during excessive rain. Expected to utilize the optimally available air present in the reservoir. Because the air present in the reservoir can be useful to increase the productivity of irrigation and increase power on hydropower.

From the results of optimization analysis using Microsoft Excel Add-Ins Solver, can be concluded with the achievement of planting reaches 300% with the pattern of rice-cropping and sugarcane planting throughout the year that affect the production profit of Rp. 7,810,150,000. After performing the analysis of air utilization optimization for irrigation can still be read to be used for discharge generation at Tulungagung hydropower. Tulungagung power plant has increased power from 14.73 MW to 16.23 MW. And the Wonorejo hydroelectric power also increased from 3.77 MW to 3.83 MW. As soon as the discharge of the existing requirement of 15.36 m³ / s is the debit of the planned 24.84 m³ / sec which is still able to accommodate in Wonorejo Reservoir with an effective capacity of 97 million m³.

Keywords: Solver, Irrigation Optimization, Hydropower Power

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan yang berjudul “**Rencana Eksploitasi Penggunaan Air Optimum pada Sub-Sistem Waduk Wonorejo untuk Kepentingan Irigasi Paingan, PLTA Wonorejo dan PLTA Tulungagung Selatan**” tepat pada waktunya. Tugas Akhir Terapan ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa diploma IV di Jurusan Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama penyusunan laporan ini, banyak sekali mendapatkan bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua serta keluarga kami, atas doa, bimbingan, perhatian dan semangat yang selalu diberikan.
2. Dr. Ir. Suharjoko, MT, selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
3. Machsus, ST, MT selaku dosen wali.
4. Dr. Ir. Kuntjoro, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar serta seluruh karyawan program studi diploma teknik sipil.
6. Teman-teman DS-34 dan LJ DIV 2016 atas bantuan, saran, kritik dan dukungannya.

Saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, yang membutuhkan saran yang konstruktif demi kesempurnaan laporan ini.

Surabaya, 10 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Lokasi Penelitian	3
BAB II KONDISI WADUK	5
2.1 DATA TEKNIS WADUK	5
2.1.1 Hidrologi.....	5
2.1.2 Waduk.....	5
2.1.3 Tipe Waduk	5
2.1.4 Pelimpah	6
2.1.5 Bangunan Pengeluaran	6
2.1.6 Bangunan Pembangkit Listrik	6
2.2 PLTA TULUNGAGUNG SELATAN	8
2.3 DATA HUJAN.....	8
2.4 DATA IRIGASI	9
2.4.1 Kondisi Daerah Studi.....	9
2.4.2 Kondisi Tanam Eksisting.....	9
2.5 DATA KLIMATOLOGI	10
2.5.1 Data Temperatur	10

2.5.2 Data Kelembapan Udara.....	10
2.5.3 Data Kecepatan Angin.....	10
2.5.4 Data Lama Penyinaran.....	10
2.6 DATA RENCANA ALOKASI AIR TAHUNAN WADUK WONOREJO	11
2.7 DATA RENCANA ALOKASI AIR TAHUNAN PLTA TULUNGAGUNG SELATAN	12
BAB III DASAR TEORI.....	15
3.1 WADUK.....	15
3.2 ANALISA KLIMATOLOGI.....	16
3.3 ANALISIS KEBUTUHAN AIR UNTUK IRIGASI.....	17
3.3.1 Curah Hujan Rata-rata	17
3.3.2 Curah hujan Efektif.....	18
3.3.3 Perencanaan Golongan	19
3.3.4 Perkolasi	19
3.3.5 Kebutuhan penyiapan lahan.....	20
3.3.6 Kebutuhan air konsumtif tanaman	21
3.3.7 Pergantian lapisan air (<i>Water Layer Requirement</i>).....	21
3.5 ANALISIS KEBUTUHAN DAYA LISTRIK	23
3.6 ANALISIS OPTIMASI	24
3.6.1 Variabel Keputusan.....	24
3.6.2 Fungsi Tujuan	25
3.6.3 Fungsi Kendala	25
3.7 PROGRAM LINIER <i>Microsoft Excel Add-Ins Solver</i>	26
3.8 OPERASI PENGATURAN PELEPASAN AIR WADUK	
27	
BAB IV METODOLOGI	29
4.1 PERSIAPAN	29
4.2 PENGUMPULAN DATA.....	29
4.2.1 Data Perencanaan Pembangunan Waduk Wonorejo...29	
4.2.2 Data Debit.....	29

4.2.3 Data Curah Hujan	29
4.2.4 Data Irigasi	30
4.2.6 Data Klimatologi	30
4.2.7 Data Waduk dan PLTA	30
4.3 Diagram alir (<i>flow chart</i>).....	31
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
5.1 Kebutuhan Air untuk Irigasi.....	33
5.1.1 Analisa Evapotranspirasi	33
5.1.2 Analisa Hidrologi.....	38
5.1.3 Curah Hujan Rata-rata	38
5.1.4 Curah Hujan Efektif.....	41
5.1.5 Curah Hujan Efektif untuk Tanaman Padi, Tebu dan Palawija.....	44
5.1.6 Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan (LP)	47
5.1.7 Perhitungan Pergantian Lapisan Air	48
5.1.8 Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi	48
5.2 Optimasi Irigasi	56
5.2.1 Perumusan Optimasi Linier	58
5.2.2 Hasil Optimasi	60
5.3 Kebutuhan Air untuk PLTA Tulungagung Selatan	66
5.3.1 Perhitungan Daya dan Energi dengan debit RAAT pada PLTA Tulungagung Selatan	66
5.3.2 Perhitungan Daya dan Energi Rencana I untuk PLTA Tulungagung Selatan.	68
5.3.3 Perhitungan Daya dan Energi Rencana II Untuk PLTA Tulungagung Selatan.	71
5.3.4 Perhitungan Daya dan Energi Rencana III untuk PLTA Tulungagung Selatan.	76
5.4 Kebutuhan Air untuk PLTA Wonorejo	81
5.4.1 Perhitungan Daya dan Energi dengan debit RAAT untuk PLTA Wonorejo	81

5.4.2 Perhitungan Daya dan Energi Rencana I PLTA Wonorejo.....	83
5.5 Rekapitulasi Daya PLTA Tulungagung Selatan dan PLTA Wonorejo	86
BAB VI RENCANA EKSPLOITASI WADUK.....	89
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	95
6.1 Kesimpulan.....	95
6.2 Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 2 Data Temperatur.....	10
Tabel 2. 3 Data Kelembapan Udara	10
Tabel 2. 4 Data Kecepatan Angin	10
Tabel 2. 5 Data Lama Penyinaran	10
Tabel 2. 6 Rencana Alokasi Air Tahunan Waduk Wonorejo	11
Tabel 2. 7 Rencana Alokasi Air Tahunan PLTA Tulungagung Selatan	12
Tabel 5. 1 Perhitungan Metode Penman	37
Tabel 5. 2 Data Curah Hujan 10 Harian di Stasiun Hujan Sumber Pandan	39
Tabel 5. 3 Data Curah Hujan10 Harian di Stasiun Hujan Bagong	39
Tabel 5. 4 Data Curah Hujan10 Harian di Stasiun Hujan Bendungan.....	40
Tabel 5. 5 Perhitungan Curah Hujan Rata-rata dengan Metode Aritmatika.....	40
Tabel 5. 6 Jumlah Curah Hujan Tahunan	41
Tabel 5. 7 Probabilitas Curah Hujan	42
Tabel 5. 8 Curah Hujan R80.....	43
Tabel 5. 9 Curah Hujan Effektiv Padi, Tebu dan Palawija	45
Tabel 5. 10 Perhitungan Kebutuhan Air Penyiapan Lahan (LP).....	47
Tabel 5. 11 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Padi untuk Awal Tanam Nopember I.....	49
Tabel 5. 12 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Tebu untuk seluruh masa tanam	51
Tabel 5. 13 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Palawija pada awal Juli.....	53
Tabel 5. 14 Rekap DR Padi, Palawija dan Tebu	55
Tabel 5. 15 Optimasi Linier untuk luas tanam DI Paingan	58
Tabel 5. 16 Hasil Optimasi Irigasi.....	60

Tabel 5. 17 Luas hasil optimasi	61
Tabel 5. 18 Intensitas Tanaman	61
Tabel 5. 19 Sisa debit dari optimasi	61
Tabel 5. 20 Debit Tambahan dari DI Paingan untuk PLTA Tulungagung Selatan	65
Tabel 5. 21 Perhitungan PLTA Tulungagung Selatan dengan Debit RAAT	66
Tabel 5. 22 Perhitungan Debit Rencana I PLTA Tulungagung Selatan	69
Tabel 5. 23 Perhitungan Debit Rencana II PLTA Tulungagung Selatan	71
Tabel 5. 243 Perhitungan Debit Rencana I PLTA Tulungagung Selatan (lanjutan).....	72
Tabel 5. 25 Debit rencana untuk PLTA Tulungagung Selatan....	73
Tabel 5. 26 Debit rencana untuk PLTA Tulungagung Selatan (lanjutan).....	74
Tabel 5. 27 Perhitungan PLTA Tulungagung Selatan dengan debit rencana.....	74
Tabel 5. 28 Perhitungan PLTA Tulungagung Selatan dengan debit rencana (lanjutan)	75
Tabel 5. 29 Perhitungan Debit rencana III Untuk PLTA Tulungagung Selatan	77
Tabel 5. 30 Perhitungan Daya dan Energi rencana III untuk PLTA Tulungagung Selatan	79
Tabel 5. 31 Perhitungan PLTA Wonorejo dengan Debit RAAT.	81
Tabel 5. 32 Debit Rencana I untuk PLTA Wonorejo	83
Tabel 5. 33 Perhitungan Daya dan Energi untuk PLTA Wonorejo dengan debit rencana I.....	84
Tabel 6. 1 Perhitungan Volume Kumulatif Inflow dan Outflow.	90
Tabel 6. 2 Rencana Pengaturan Air di Sistem Waduk Wonorejo	92
Tabel 6. 3 Perhitungan Kumulatif Inflow dan Outflow Rencana	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Tulungagung	3
Gambar 1. 2 Lokasi Detail Waduk Wonorejo	4
Gambar 2. 1 Skema Alokasi Air dan Luas Daerah Irigasi di Wilayah Sungai Brantas	13
Gambar 2. 2 Skema Alokasi Air di Sub-sistem Waduk Wonorejo	14
Gambar 5. 3 Skema debit sisa hasil optimasi irigasi untuk debit tambahan PLTA Tulungagung Selatan	63
Gambar 5. 1 BarChart Rencana Pola Tata tanam hasil optimasi irigasi dengan Rencana Alokasi Air Tahunan	64
Gambar 5. 2 BarChart Rencana Pola Tata Tanam secara Eksisting	64
Gambar 5. 4 Skema debit RAAT untuk PLTA Tulungagung Selatan	66
Gambar 5. 5 Skema debit rencana I	68
Gambar 5. 6 Skema debit	78

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5. 1 Debit antara Inflow dengan hasil optimasi.....	62
Grafik 5. 2 Debit Inflow dengan Debit Rencana	72
Grafik 5. 3 Inflow dan Outflow di komulatifkan.....	78
Grafik 5. 4 Daya PLTA Tulungagung Selatan	86
Grafik 5. 5 Daya PLTA Wonorejo	86

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk dari tahun ke tahun semakin meningkat, dengan adanya penambahan penduduk berdampak pada kebutuhan air untuk irigasi dan PLTA ikut meningkat. Peningkatan kebutuhan air tersebut tidak diiringi dengan penambahan sumber air sehingga sumber air yang ada diharapkan dapat memenuhi semua kebutuhan.

Karena jumlah sumber air tetap maka diperlukan penampungan air berupa waduk. Waduk Wonorejo yang terletak di Desa Wonorejo, Kecamatan Pagerwojo, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur memiliki luas genangan 3,8 Km². Total Volume tampungan Waduk Wonorejo 102 juta m³ yang terdiri dari Volume Efektif sebesar 97.09 juta m³ dan Volume mati 16 juta m³. Waduk Wonorejo mendapat pasokan air dari Kali Gondang dan Kali wangi dengan luas daerah aliran sungai sebesar 126,3 Km².

Pada awal pembangunan, Waduk Wonorejo direncanakan sebagai pasokan air irigasi 7540 ha, air baku 8,02 m³/detik dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) 6,02 Mega Watt (MW), sehingga Waduk wonorejo merupakan jenis Waduk serba guna, yaitu Waduk yang memiliki fungsi lebih dari satu (Multi fungsi) sehingga dapat memanfaatkan air secara efektif dan Efisien.

Disaat musim penghujan air sangat melimpah, kebiasaan masyarakat sampai saat ini adalah menggunakan air secara berlebihan, sehingga pada musim kemarau banyak daerah yang mengalami kekeringan karena kekurangan air. Untuk meminimalisir hal tersebut, maka sebaiknya harus bisa memanfaatkan air yang tersedia dengan sebaik mungkin, terutama yang ada di dalam waduk, karena air didalam waduk sangat berguna untuk persediaan yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas pola tanam di daerah irigasi dan dapat meningkatkan daya listrik masyarakat disekitar waduk tersebut.

Akan tetapi ada hal yang dapat mempengaruhi ketersediaan air dalam Waduk Wonorejo adalah rusaknya DAS, yang diakibatkan oleh rusaknya daerah tangkapan air yang tersedia, karena perubahan fungsi lahan dan penebangan liar disekitar DAS.

Selain masalah diatas, penurunan fungsi waduk juga disebabkan oleh degradasi lingkungan, proses *eksploitasi* sumber daya alam, baik di waduk maupun di Daerah Aliran Sungai. Dan hal kerusakan tersebut berbanding lurus dengan peningkatan pertumbuhan penduduk setiap tahunnya. Hal ini merupakan permasalahan di daerah hulu yang salah satunya akan mengakibatkan pendangkalan pada waduk.

Dari permasalahan tentang ketersediaan dan penggunaan air yang diuraikan diatas, maka dalam penelitian ini bertujuan mengoptimalkan volume tampungan air waduk. Pada pengoperasian dengan menggunakan metode linear programming menggunakan *Microsoft Excel Add-in Solver* untuk Optimasi DI Paingan dan meninjau daya yang dihasilkan PLTA Tulungagung Selatan dan PLTA Wonorejo. Oleh karena itu perlu adanya studi mengenai Rencana Eksploitasi Penggunaan Air Optimum pada Sub-Sistem Waduk Wonorejo untuk Kepentingan Irigasi Paingan, PLTA Wonorejo dan PLTA Tulungagung Selatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang, maka didapat permasalahan yang terjadi, antara lain:

1. Bagaimana merencanakan penggunaan air pada waduk untuk irigasi secara optimum yang ditinjau dari produktifitas.
2. Bagaimana merencanakan penggunaan air untuk PLTA Wonorejo dan Tulungagung Selatan
3. Bagaiman merencanakan eksploitasi air untuk keperluan irigasi dan PLTA.

1.3 Tujuan

1. Merencanakan penggunaan air irigasi secara optimum

2. Merencanakan penggunaan air irigasi yang dihasilkan untuk pembangkit listrik.
3. Merencanakan rencana eksploitasi penggunaan air untuk irigasi dan PLTA.

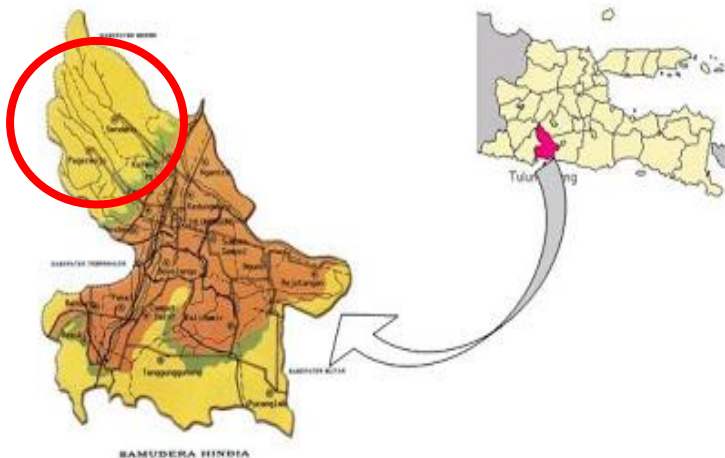
1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir terapan ini adalah :

1. Rencana penelitian ini membahas sub-sistem Waduk Wonorejo yang meliputi optimasi irigasi DI Paingan dan rekayasa pembangkitan listrik pada PLTA Wonorejo dan PLTA Tulungagung Selatan.
2. Pengaturan air yang berkaitan terhadap sistem Kali Brantas tidak merubah dari Rencana Alokasi Air Tahunan 2016-2017 yang direncanakan oleh Perusahaan Jasa Tirta I.

1.5 Lokasi Penelitian

Berikut gambar peta lokasi studi kegiatan ini.



Gambar 1. 1 Peta Tulungagung



Gambar 1. 2 Lokasi Detail Waduk Wonorejo

BAB II

KONDISI WADUK

2.1 DATA TEKNIS WADUK

Lokasi	: Desa Wonorejo, Kecamatan Pagerwojo Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur
Manfaat	: Irigasi mengairi seluas 7540 Ha Air Baku 8.02 m ³ /detik PLTA 6.02 Mega Watt
Biaya	: Rp. 77 Milyar + 18,465 Milyar yen
Pengelola	: Proyek irigasi Tulungagung
Konsultan	: Nippon Koei Co. Ltd dan PT. Indah Karya
Kontraktor	: Hasama Gumi Kajima Co , TAISEI dan PT. Pembangunan Perumahan

2.1.1 Hidrologi

Sungai	: Anak Sungai (Kali Wangi) dan Induk Sungai (Kali Gondang)
Luas DAS	: 126.3 Km ³
CH Tahunan	: 1500-2000 mm
Q des. Pengelak	: 540 m ³ /detik

2.1.2 Waduk

Elevasi dan Luas Muka Air waduk :	
MA Banjir	: El +185.0, 400 Ha
MA Normal	: El +183.0, 380 Ha
MA Minimum	: El +141.0, Tidak ada data
Volume waduk pada :	
MA Banjir	: 259 juta m ³
MA Normal	: 122 juta m ³
V. Mati	: 16 juta m ³
V. Efektif	: 106 juta m ³

2.1.3 Tipe Waduk

Tipe	: Urugan batu dengan inti tanah
Tinggi di atas dasar sungai	: 95,00 meter
Tinggi di atas galian	: 97,00 meter

Panjang puncak	: 545 meter
Lebar puncak	: 10,00 meter
Elevasi puncak	: El +188,00 meter
Volume Tubuh Waduk	: 6,47 juta m ³

2.1.4 Pelimpah

Tipe	: Ogee tanpa pintu
Banjir desain	: 1410 m ³
Kapasitas	: 540 m ³ /detik
Elevasi mercu	: El. +183,00 meter
Panjang mercu bersih	: 110,00 meter

2.1.5 Bangunan Pengeluaran

Bangunan pengeluaran untuk energi

- Head race

Tipe	: Terowongan
Bentuk	: Lingkaran
Garis Tengah	: 5 meter
Jumlah	: 1 Buah
Panjang	: 126,60 meter
Tipe alat operasi	: Katup
- Tangki pendatar air : Tidak ada
- Pipa Pesat

Tipe	: Pipa Baja
Jalur dan panjang	: 1 jalur , 204 meter
Diameter Dalam	: 2,20 meter
Kapasitas	: Tidak ada data

2.1.6 Bangunan Pembangkit Listrik

Tipe	: Permukaan
Dimensi	: 350 m ³
Turbin	: Francis, Horizontal
Jumlah	: 1 buah
Kapasitas Terpasang	: 6,02 Mega Watt

2.1.6.1 Pipa Pesat:

Pembuat	: amarta – Sakai Japan
Tinggi tekanan maksimal	: 104,3 m
Panjang pipa	: 154,142 m

Diameter dalam	: 2538 – 1900 – 1400 mm
Tebal plat	: SS400B 8–12 mm dan SM400B 13–14 mm
Pipa pengeluaran	: 102 ton
Berat	: 12 ton

2.1.6.2 Turbin :

Pada PLTA wonorejo, turbin berguna untuk merubah energi kinetic menjadi energi mekanik. Energi mekanik ditransmisikan melalui proses vertical kegenerator yang terpasang seporos diatas turbin. Spesifikasi turbin yang digunakan adalah:

Pabrik	: Toshiba Corporation
Tipe	: VF 1 Fransis, vertical shaft

Net Head

Max	: 71,93 m
Normal	: 61,20 m
Min	: 41,50 m

<i>Rated Speed</i>	: 500 rpm
--------------------	-----------

<i>Serial Number</i>	: A 107481
----------------------	------------

<i>Runway Speed</i>	: 990 rpm
---------------------	-----------

Output

<i>Max</i>	: 6500 kW
Normal	: 6500 kW
Min	: 3300 kW

DCB harger

<i>Max</i>	: 10,6 m/s
Normal	: 11,47 m/s
Min	: 9,34 m/s

Kecepatan putaran turbin dikontrol secara otomatis dari ruang control dan dikendalikan oleh *governor* untuk mendapatkan putaran yang sesuai dengan *output* tegangan pada generator.

2.1.6.3 Generator

Pada *unit* pembangkit, generator merupakan komponen utama yang digunakan untuk menghasilkan tegangan. Generator pada PLTA Wonorejo merupakan generator AC. Pada dasarnya

generator memiliki kemiripan fisik seperti halnya motor listrik namun prinsipkerja generator adalah mengubah energy mekanik menjadi energy listrik. Adapun spesifikasi generator pada PLTA Wonorejo sebagai berikut.

Pabrik	: Toshiba Corporation Tokyo – Jepang
Tipe	: TAKL
Rating kVA	: 7000 kVA
Putaran	: 500 rpm
Tegangan	: 6600 V
Fasa/Poles	: 3 fasa/12
Frekuensi	: 50 Hz
Factor Daya	: 0,9
Class Isolasi	: F
Ampere	: 613
Spesifikasi	: IEC 43 – 1 (1994)

2.2 PLTA TULUNGAGUNG SELATAN

- Lokasi : Desa Besuki, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung - Jawa Timur
 - Tipe turbin : Turbin Francis Vertikal
 - Head : 65 meter
 - Daya : 2x18 MW
- PLTA Tulungagung Selatan memanfaatkan potensi sumber daya air dari DAS kali Ngrowo yang berhilir di saluran Parit Agung.

2.3 DATA HUJAN

Stasiun pengamatan data hujan pada Waduk Wonorejo terdapat tiga stasiun hujan yaitu Stasiun Hujan Sumber Pandan, Stasiun Hujan Bagong dan Stasiun Hujan Bendungan. Keseluruhan data curah hujan ditabelkan pada lampiran.

2.4 DATA IRIGASI

2.4.1 Kondisi Daerah Studi

Daerah studi yang dikaji adalah Daerah Irigasi Paingan yang mencakup kabupaten Tulungagung dan Kabupaten Trenggalek. Daerah Irigasi Paingan memiliki intake di bendung Tiudan, yang terletak pada hilir Waduk Wonorejo yang disuplai oleh sungai Gondang di desa Wonokromo, Kecamatan Gondang, Kabupaten Tulungagung.

2.4.2 Kondisi Tanam Eksisting

Pengaturan pola tata tanam adalah kegiatan mengatur awal masa tanam, jenis tanaman dan varietas tanaman dalam suatu tabel perhitungan. Tujuan utama dari penyusunan pola tata tanam adalah agar mendapatkan besaran kebutuhan air irigasi pada musim kemarau sekecil mungkin. Didalam penyusunan pola tata tanam dilakukan simulasi penentuan awal tanam.

Luasan di Daerah Irigasi Paingan sebesar 551 Ha, yang terbagi 533 Ha di Kabupaten Tulungagung dan sisanya berada di Kabupaten Trenggalek. Pola tata tanam eksisting pada Daerah Irigasi Paingan yakni Padi-Padi-Palawija dan Tebu sepanjang tahun. Padi dengan luasan 470 Ha, Palawija 38 Ha dan Tebu 43 Ha.

2.5 DATA KLIMATOLOGI

2.5.1 Data Temperatur

Tabel 2. 1 Data Temperatur

No	Tahun	Temperatur (°C)											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	2012	27.1	26.68	27.08	27.55	26.43	25.83	26.6	27.56	28.3	28.22	28	28.19
2	2013	28.12	27.62	25	24.96	22.67	23.21	24.64	23.34	24.45	25.11	26.03	25.88
3	2014	26.47	26.53	26.94	26.52	27.27	24.1	22.04	20.6	21	21.99	21.93	19.16
4	2015	18.39	19.29	22.67	19.51	18.43	18.8	18	18.57	19.94	20.98	23.4	23.07
Rata-Rata		25.02	25.03	25.42	24.64	23.70	22.99	22.82	22.52	23.42	24.08	24.84	24.08

2.5.2 Data Kelembapan Udara

Tabel 2. 2 Data Kelembapan Udara

No	Tahun	Kelembaban Udara (%)											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	2012	78.50	78.50	79.50	80.00	78.50	83.00	79.50	78.00	77.00	79.00	80.00	78.50
2	2013	64.45	67.04	65.81	69.97	69.48	68.83	63.32	56.58	61.40	62.45	62.10	61.87
3	2014	60.19	60.10	64.26	63.90	60.71	61.80	55.74	58.29	60.37	60.29	63.80	60.35
4	2015	70.45	66.61	68.16	68.03	66.06	63.63	64.94	69.58	68.33	73.48	75.97	74.94
Rata-Rata		68.40	68.06	69.43	70.48	68.69	69.32	65.88	65.61	66.78	68.81	70.47	68.92

2.5.3 Data Kecepatan Angin

Tabel 2. 3 Data Kecepatan Angin

No	Tahun	Kecepatan Angin (Km/Jam)											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	2012	14.78	15.76	16.17	15.23	13.45	16.56	20.32	20.12	25.98	31.00	25.65	23.33
2	2013	20.98	13.56	17.40	16.12	14.14	18.18	21.44	25.12	30.1	32.12	27.10	24.42
3	2014	18.50	17.85	13.90	14.5	14.8	21.3	29.8	34.30	44.80	43.31	22.42	25.40
4	2015	17.88	19.20	15.45	14.2	14.2	17.4	23.00	31.10	41.30	26.13	23.54	26.10
Rata-Rata		18.04	16.59	15.73	15.01	14.15	18.36	23.64	27.66	35.55	33.14	24.68	24.81

2.5.4 Data Lama Penyinaran

Tabel 2. 4 Data Lama Penyinaran

No	Tahun	Lama Penyinaran (n/N)											
		Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sept	Okt	Nop	Des
1	2012	43.03	30.5	59.48	70.47	67.87	73.33	75.9	83.1	84.27	76.16	62.13	47.00
2	2013	66.06	50.43	45.03	53.53	66.52	68	74.77	77.26	85.2	76.45	66.57	39.19
3	2014	60.61	58.93	57.68	59.87	80.65	74.23	78.19	77.16	76.63	65.52	42.00	34.06
4	2015	37.03	52.21	55.40	60.97	59.26	80.8	82.30	84.32	87.03	75.9	75.93	51.52
Rata-Rata		51.68	48.02	54.40	61.21	68.58	74.09	77.79	80.46	83.28	73.51	61.66	42.94

2.6 DATA RENCANA ALOKASI AIR TAHUNAN WADUK WONOREJO

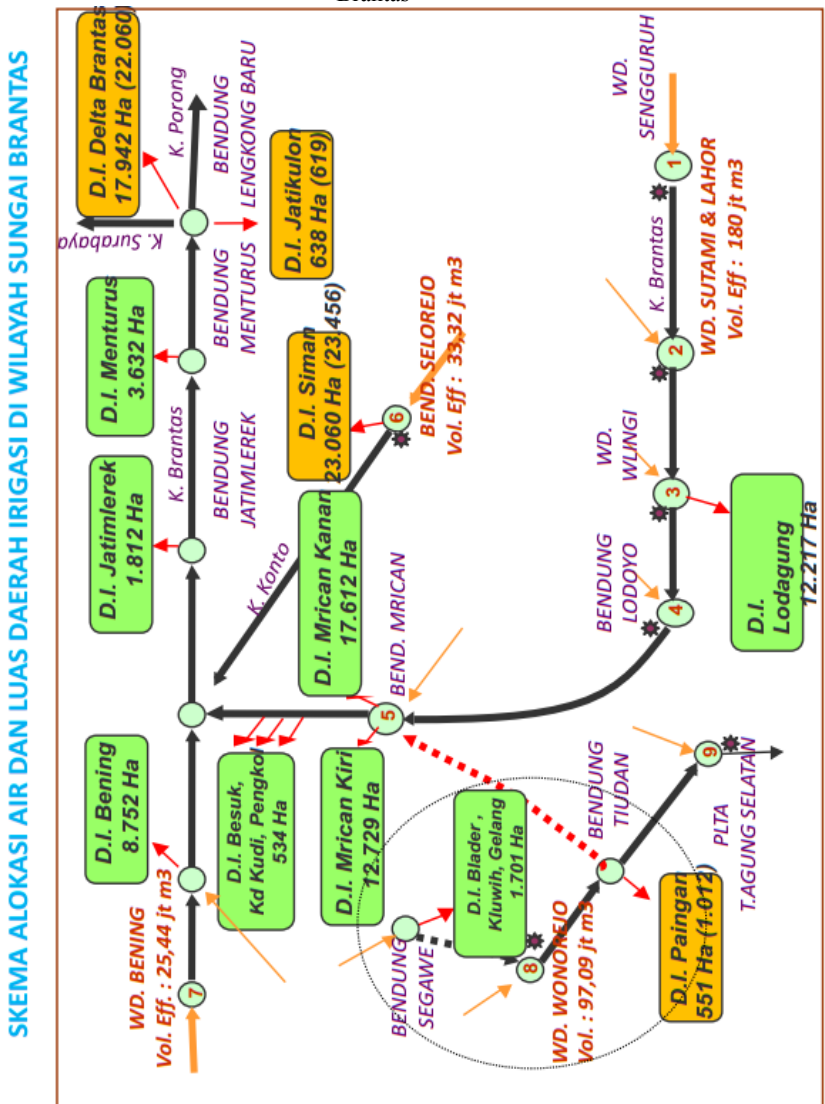
Tabel 2. 5 Rencana Alokasi Air Tahunan Waduk Wonorejo

WADUK WONOREJO														
Bln/ Dkd		Segawe			Wonorejo						Tudan			
		Inflow	Outflow (m3/dt)		Inflow (m3/dt)		Outflow (m3/dt)				Inflow	Outflow (m3/dt)		
												Kanal	Irigasi (Paingan)	Keseimb angan
		m3/dt	Irigasi	Ke Wnr	Gondang	Total	Turbin	HJV	Spillway	Total	m3/dt			
DES	1	7.96	2.21	5.75	6.47	12.22	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	2.00	8.30
	2	9.90	2.17	7.73	7.01	14.75	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	1.97	8.33
	3	9.04	2.23	6.81	8.86	15.68	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	1.95	8.35
JAN	1	8.43	2.42	6.01	7.96	13.97	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	2.03	8.27
	2	6.47	2.42	4.05	5.25	9.30	8.23	-	-	8.23	8.23	1.50	2.03	4.70
	3	9.45	2.42	7.03	9.98	17.01	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	2.03	8.27
PEB	1	9.43	2.42	7.01	9.55	16.56	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	2.03	8.27
	2	10.24	2.42	7.82	9.35	17.17	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	2.03	8.27
	3	12.19	2.33	9.85	11.56	21.41	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	1.93	8.37
MAR	1	9.60	2.26	7.34	10.40	17.74	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	1.81	8.49
	2	8.14	2.18	5.95	7.76	13.72	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	1.68	8.62
	3	7.83	1.89	5.94	7.00	12.94	8.86	-	-	8.86	8.86	1.50	1.32	6.05
APR	1	9.48	1.62	7.86	8.52	16.38	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	1.28	9.02
	2	10.73	1.78	8.95	9.75	18.70	11.80	-	-	11.80	11.80	1.50	1.51	8.79
	3	6.33	1.95	4.38	5.28	9.67	7.74	-	-	7.74	7.74	1.50	1.77	4.47
MEI	1	6.06	1.98	4.09	4.89	8.98	7.03	-	-	7.03	7.03	1.50	2.02	3.51
	2	5.11	1.82	3.29	4.06	7.36	5.79	-	-	5.79	5.79	1.50	1.87	2.42
	3	4.39	2.17	2.22	2.78	5.00	4.64	-	-	4.64	4.64	1.50	1.85	1.29
JUN	1	2.79	2.10	0.69	0.94	1.63	4.88	-	-	4.88	4.88	3.00	1.59	0.30
	2	2.73	2.11	0.62	0.51	1.13	4.68	-	-	4.68	4.68	3.00	1.59	0.09
	3	2.73	2.11	0.62	0.32	0.95	4.66	-	-	4.66	4.66	3.00	1.59	0.07
JUL	1	2.56	2.11	0.45	0.07	0.52	4.73	-	-	4.73	4.73	3.00	1.59	0.14
	2	2.48	2.11	0.37	0.00	0.37	4.72	-	-	4.72	4.72	3.00	1.69	0.03
	3	2.12	2.11	0.01	0.00	0.01	4.72	-	-	4.72	4.72	3.00	1.69	0.03
AGT	1	2.02	2.02	0.00	0.00	0.00	5.57	-	-	5.57	5.57	3.00	1.69	0.88
	2	1.96	1.96	0.00	0.00	0.00	5.75	-	-	5.75	5.75	3.00	1.69	1.07
	3	1.93	1.71	0.22	0.00	0.22	5.59	-	-	5.59	5.59	3.00	1.69	0.90
SEP	1	1.84	1.49	0.36	0.00	0.36	5.46	-	-	5.46	5.46	3.00	1.69	0.77
	2	1.71	1.27	0.44	0.00	0.44	5.40	-	-	5.40	5.40	3.00	1.69	0.71
	3	1.52	1.06	0.46	0.00	0.46	4.98	-	-	4.98	4.98	3.00	1.69	0.29
OKT	1	1.51	0.97	0.53	0.00	0.53	5.22	-	-	5.22	5.22	3.00	1.69	0.53
	2	1.51	0.97	0.53	0.00	0.53	5.35	-	-	5.35	5.35	3.00	1.69	0.66
	3	1.64	0.97	0.67	0.31	0.98	5.21	-	-	5.21	5.21	3.00	1.69	0.52
NOP	1	2.05	0.97	1.07	0.19	1.27	6.53	-	-	6.53	6.53	3.00	1.85	1.68
	2	2.53	0.92	1.61	1.43	3.05	5.59	-	-	5.59	5.59	3.00	1.79	0.80
	3	3.70	0.89	2.82	2.68	5.50	9.69	-	-	9.69	9.69	3.00	1.59	5.10

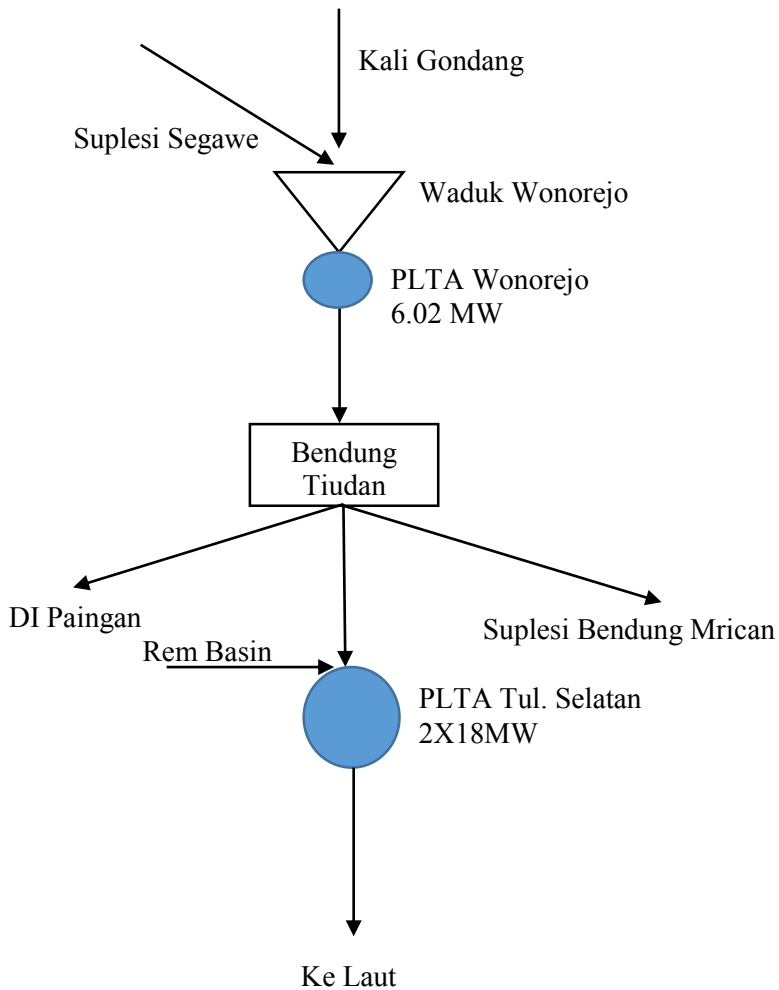
2.7 DATA RENCANA ALOKASI AIR TAHUNAN PLTA TULUNGAGUNG SELATAN

Tabel 2. 6 Rencana Alokasi Air Tahunan PLTA Tulungagung Selatan

PLTA TULUNGAGUNG SELATAN						
BLN/DKD		INFLOW (m3/dt)			OUTFLOW (m3/dt)	
		REM	DARI	TOTAL	TURBIN	TRWNG
1		2	3	4	5	6
DES	1	22.27	8.30	30.57	30.57	0.00
	2	41.44	8.33	49.77	49.77	0.00
	3	45.80	8.35	54.15	54.15	0.00
JAN	1	46.73	8.27	55.00	55.00	0.00
	2	43.49	4.70	48.19	48.19	0.00
	3	56.19	8.27	64.46	62.00	2.46
PEB	1	66.41	8.27	74.68	62.00	12.68
	2	71.06	8.27	79.33	62.00	17.33
	3	76.06	8.37	84.43	62.00	22.43
MAR	1	64.69	8.49	73.18	62.00	11.18
	2	61.43	8.62	70.05	62.00	8.05
	3	52.86	6.05	58.91	58.91	0.00
APR	1	57.03	9.02	66.05	62.00	4.05
	2	60.19	8.79	68.97	62.00	6.97
	3	38.46	4.47	42.92	42.92	0.00
MEI	1	30.92	3.51	34.43	34.43	0.00
	2	33.69	2.42	36.10	36.10	0.00
	3	23.10	1.29	24.40	24.40	0.00
JUN	1	8.52	0.30	8.81	8.81	0.00
	2	8.09	0.09	8.18	8.18	0.00
	3	6.85	0.07	6.92	6.92	0.00
JUL	1	5.75	0.14	5.89	5.89	0.00
	2	5.37	0.03	5.41	5.41	0.00
	3	4.84	0.03	4.87	4.87	0.00
AGT	1	4.22	0.88	5.10	5.10	0.00
	2	4.60	1.07	5.66	5.66	0.00
	3	4.02	0.90	4.92	4.92	0.00
SEP	1	3.46	0.77	4.24	4.24	0.00
	2	3.04	0.71	3.75	3.75	0.00
	3	2.05	0.29	2.34	2.34	0.00
OKT	1	1.84	0.53	2.37	2.37	0.00
	2	2.20	0.66	2.87	2.87	0.00
	3	2.37	0.52	2.89	2.89	0.00
NOP	1	3.40	1.68	5.08	5.08	0.00
	2	8.09	0.80	8.89	8.89	0.00
	3	16.85	5.10	21.95	21.95	0.00



Gambar 2. 2 Skema Alokasi Air di Sub-sistem Waduk Wonorejo



BAB III

DASAR TEORI

3.1 WADUK

Waduk menurut pengertian umum adalah tempat pada permukaan tanah yang digunakan untuk menampung air saat terjadi kelebihan air / musim penghujan sehingga air itu dapat dimanfaatkan pada musim kering. Sumber air waduk terutama berasal dari aliran permukaan ditambah dengan air hujan langsung. Waduk dapat dimanfaatkan antara lain sebagai berikut:

1. Irigasi

Pada saat musim penghujan, hujan yang turun di daerah tangkapan air sebagian besar akan mengalir ke sungai. Kelebihan air yang terjadi dapat di tampung waduk sebagai persediaan sehingga pada saat musim kemarau tiba air tersebut dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain irigasi lahan pertanian.

2. PLTA

Dalam menjalankan fungsinya sebagai PLTA, waduk dikelola untuk mendapatkan kapasitas listrik yang dibutuhkan. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah suatu system pembangkit listrik yang biasanya terintegrasi dalam bendungan dengan memanfaatkan energi mekanis aliran air untuk memutar turbin yang kemudian akan diubah menjadi tenaga listrik oleh generator.

3. Penyediaan air baku

Air baku adalah air bersih yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air minum dan air rumah tangga. Waduk selain sebagai sumber pengairan persawahan juga dimanfaatkan sebagai sumber penyediaan air baku untuk bahan baku air minum dan air rumah tangga. Air yang dipakai harus memenuhi persyaratan sesuai kegunaannya.

Hal yang terpenting dari waduk adalah kapasitas waduk

atau kapasitas tampungan yang

- Kapasitas efektif = Volume tampungan dari waduk yang dapat dimanfaatkan untuk melayani kebutuhan air yang ada
- Kapasitas mati = Volume tampungan untuk sedimen. Kapasitas tampungan tersebut perlu diketahui, karena merupakan dasar untuk perencanaan bangunan-bangunan seperti Waduk spillway maupun intake. Sebelum dilakukan perhitungan kapasitas waduk lebih dahulu perlu digambarkan hubungan antara elevasi, luas permukaan dan volume.

2.2 ANALISA KLIMATOLOGI

Peristiwa evaporasi dan transpirasi yang terjadi bersama-sama disebut evapotranspirasi. (Wiyono, Agung: 2000). Evaporasi potensial sering disebut sebagai kebutuhan konsumtif tanaman yang merupakan jumlah air untuk evaporasi dari permukaan areal tanaman. Iklim mempunyai peranan penting dalam penentuan karakteristik tersebut. Yang termasuk dalam data meteorology antara lain: temperature udara, kelembapan udara, kecepatan angin dan lama penyinaran matahari. Evaporasi potensial dapat dihitung dengan menggunakan metode penman modifikasi FAO sebagai berikut (Pruit, W.O. 1997) :

$$ET_o = C \{W R_n + (1-W) f(u) \cdot (e_a - e_d)\}$$

Dimana:

- C = Faktor pengganti kondisi cuaca akibat siang dan malam
 W = Faktor berat yang mempengaruhi penyinaran matahari pada evapotranspirasi potensial. (mengacu pada tabel penman hubungan antara temperature dengan ketinggian).
 (1-W) = Faktor berat sebagai pengaruh angina dan kelembapan pada ET_o
 (Ea-ed) = Perbedaan tekanan uap air jenuh dengan tekanan uap air nyata (mbar)
 ed = ea x RH
 ea = tekanan uap jenuh
 RH= Kelembapan Relatif

- R_n = Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hr)
 $R_n = R_{ns} - R_{n1}$
 R_{ns} = Harga netto gelombang pendek
 R_{n1} = Radiasi netto gelombang panjang
 $R_{ns} = R_s(1-\alpha)$
 R_s = Radiasi gelombang pendek
 α = Koefisien pemantulan 0.25
 $R_s = (0.25+0.5(n/N))R_a$
 n/N = lama penyinaran matahari
 R_a = Radiasi eksternal terestrial (berdasarkan lokasi stasiun pengamatan)
 $R_{n1} = 2.01 \times 10^9 T^4 (0.34 - 0.44 e d^{0.5}) (0.1 + 0.9 n/N)$
 $F(u)$ = Fungsi pengaruh angin pada ETo
 $= 0.27 \times (1+U_2/100)$
 Dimana U_2 merupakan kecepatan angin selama 24 jam dalam km/hr diketigian 2m.

2.3 ANALISIS KEBUTUHAN AIR UNTUK IRIGASI

Kebutuhan air irigasi adalah jumlah volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, kehilangan air, kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang diberikan oleh alam melalui hujan dan kontribusi air tanah. Suatu pertumbuhan tanaman sangat dibatasi oleh ketersediaan air yang di dalam tanah. Kekurangan air akan mengakibatkan terjadinya gangguan aktifitas fisiologis tanaman, sehingga pertumbuhan tanaman akan terhenti. Kebutuhan air untuk tanaman pada suatu jaringan irigasi merupakan air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman yang optimal tanpa kekurangan air yang dinyatakan dalam netto kebutuhan air lapangan atau NFR.

Kebutuhan air di sawah ditentukan oleh factor-faktor berikut :

3.3.1 Curah Hujan Rata-rata

Curah hujan rata-rata diperlukan untuk rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir ialah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah

hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut hujan wilayah dan dinyatakan dalam mm. curah hujan daerah ini harus diperkirakan dari beberapa titik hujan.

Salah satu cara perhitungan curah hujan rata-rata ini adalah dengan menggunakan rumus cara rata-rata aljabar dengan alasan bahwa cara ini lebih obyektif, dimana factor subyektif turut menentukan (Sosrodarsono, Suyono :1985). Adapun rumusan rata-rata aljabar sebagai berikut :

$$R_{rata-rata} = \frac{1}{n} \times (R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

Dimana :

$R_{rata-rata}$ = tinggi hujan rata-rata (mm)

$R_1 + R_2 + \dots + R_n$ = tinggi hujan masing-masing stasiun (mm).

n = jumlah stasiun hujan.

(Sumber : Sosrodarsono & Kensaku, 1895)

3.3.2 Curah hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang jatuh pada satu daerah dan dapat digunakan tanaman untuk pertumbuhannya. Curah hujan efektif ini dimanfaatkan oleh tanaman untuk memenuhi kehilangan air akibat evapotranspirasi tanaman, perkolasi dan lain-lain. Jumlah hujan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman tergantung pada jenis tanaman.

Besarnya curah hujan yang terjadi dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air, sehingga dapat memperkecil debit yang diperlukan dari pintu pengambilan. Mengingat bahwa jumlah curah hujan yang turun tersebut tidak semuanya dapat dipergunakan untuk tanaman dalam pertumbuhannya, maka disini perlu diperhitungkan dan dicari curah hujan efektifnya.

Curah hujan efektif (Reff) ditentukan besarnya R_{80} yang merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampauai sebanyak 80% atau dengan kata lain dilampauinya 8kali kejadian dari 10kali kejadian. Maka besarnya curah hujan yang lebih kecil dari R_{80} mempunyai kemungkinan hanya 20%.

Rumus untuk mencari R_{80} sebagai berikut :

$$R_{80} = n/5 + 1$$

Dimana :

$R_{eff} = R_{80}$ = Curah hujan efektif 80% (mm/hari)

$n/5 + 1$ = Rangkaian curah hujan efektif dihitung dari curah hujan terkecil

n = Jumlah data

Analisa curah hujan efektif dilakukan dengan maksud untuk menghitung kebutuhan air irigasi. Curah hujan efektif ialah bagian dari keseluruhan curah hujan yang efektif tersedia untuk memenuhi kebutuhan air tanaman.

Apabila data curah hujan yang digunakan 10 harian maka persamaannya menjadi (SPI KP01:1986)

$$RE_{padi} = R_{80} \times 70\% \text{ (mm/hari)}$$

$$RE_{tebu} = R_{80} \times 60\% \text{ (mm/hari)}$$

$$RE_{pol} = R_{80} \times 50\% \text{ (mm/hari)}$$

3.3.3 Perencanaan Golongan

Agar kebutuhan pengambilam puncak dapat dikurangi, maka areal irigasi harus dibagi-bagi menjadi sekurang-kurangnya tiga atau empat golongan. Hal ini dapat dilakukan agar bisa mendapatkan luas tanam maksimal dari debit yang tersedia. Langkah ini ditempuh dengan alasan tidak mencukupi jumlah kebutuhan air apabila dilakukan penanaman secara serentak atau bisa juga dengan asumsi apabila tidak turunnya hujan untuk beberapa saat kedepan. Termasuk juga dikarenakan keterbatasan dari sumber daya manusia ataupun bangunan pelengkap yang telah ada.

3.3.4 Perkolasi

Laju perkolasi sangat bergantung pada sifat-sifat tanah. Dari hasil penyelidikan tanah pertanian dan penyelidikan kelulusan, besarnya laju perkolasi serta tingkat kecocokan tanah untuk pengolahan tanah dapat ditetapkan dan dianjurkan pemakaiannya. Guna menentukan laju perkolasi, tinggi muka air tanah juga harus diperhitungkan. Perembesan terjadi akibat meresapnya air melalui tanggul sawah. Laju perkolasi normal pada tanah lempung sesudah dilakukan genangan berkisar antara 1 sampai 3 mm/hari. Di daerah

dengan kemiringan diatas 5 %, paling tidak akan terjadi kehilangan 5 mm/hari akibat perkolasi dan rembesan.

3.3.5 Kebutuhan penyiapan lahan

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air pada suatu proyek irigasi. Faktor penting yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk penyiapan lahan ialah:

- a) Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk penyiapan lahan
- b) Jumlah air yang diperlukan untuk penyiapan lahan

Untuk perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh van de Goor dan Zijlstra (1968). Metode ini didasarkan pada laju air konstan dalam l/dt selama penyiapan lahan dan menghasilkan rumus berikut :

$$LP = M e^k / (e^k - 1)$$

Dimana :

LP = Kebutuhan air irigasi untuk pengelolaan tanah mm/hari

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi disawah yang telah dijenuhkan. ;

$$M = E_o + P$$

E_o = Evaporasi air terbuka (mm/hari) = E_{To} x 1,1.

P = Perkolasi (mm/hari)

$$k = MT/S$$

T = Jangka waktu penyiapan tanah (hari)

S = Kebutuhan air (untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50 mm, sehingga menjadi 250 mm)

Untuk tanah bertekstur berat tanpa retak – retak kebutuhan air untuk penyiapan lahan diambil 200 mm. Setelah transplantasi selesai, lapisan air disawah akan ditambah 50 mm. Secara keseluruhan, ini berarti bahwa lapisan air yang diperlukan menjadi 250 mm untuk penyiapan lahan dan lapisan air awal setelah transplantasi selesai. Bila lahan telah dibiarkan bera selama jangka waktu yang lama (2,5 bulan atau lebih), maka lapisan air yang diperlukan untuk penyiapan lahan diambil 300 mm, termasuk 50mm untuk pengenangan setelah transplantasi (SPI KP-1:1986).

3.3.6 Kebutuhan air konsumtif tanaman

Kebutuhan air untuk konsumtif tanaman merupakan kedalaman air yang diperlukan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman yang bebas penyakit, tumbuh di areal pertanian pada kondisi cukup air dari kesuburan tanah dengan potensi pertumbuhan yang baik dan tingkat lingkungan pertumbuhan yang baik. Untuk menghitung kebutuhan air untuk konsumtif tanaman digunakan persamaan empiris sebagai berikut :

$$Etc = Kc \times Eto$$

Dimana :

Kc = Koefisien tanaman

Eto = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

Etc = Evaporasi tanaman (mm/hari)

3.3.7 Pergantian lapisan air (*Water Layer Requirement*)

a) Setelah pemupukan, usahakan untuk menjadwalkan dan mengganti lapisan air menurut kebutuhan.

b) Jika tidak ada penjadwalan semacam itu, dilakukan penggantian sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (atau 3,3 mm/hari selama ½ bulan) selama sebulan dan dua bulan setelah transplantasi.

Dari kelima faktor tadi maka perkiraan kebutuhan air irigasi ialah sebagai berikut (SPI bagian penunjang, 1986):

- Kebutuhan bersih air disawah (NFR)

$$NFR_{padi} = Etc + p - Re + WLR$$

$$NFR_{polowijo} = Etc - Re_{pol}$$

$$NFR_{tebu} = Etc - Re_{tebu}$$

- Kebutuhan air irigasi dipintu pengambilan

$$DR = \frac{NFR}{8,64 \times EI}$$

Dimana :

Etc = Kebutuhan konsumtif (mm)

P = Kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari)

Re = Curah Hujan efektif (mm/hari)

EI = Efisiensi Irigasi secara total (%)

WLR = Pergantian lapisan air (mm/hari)

NFR = Kebutuhan air di sawah (mm/hari)

DR = Kebutuhan air di pintu pengambilan (l/dt/ha)

1/8,64 = Angka konversi satuan dari mm/hari ke lt/dt/ha.

Dalam analisa kebutuhan air irigasi, dibahas mengenai tinjauan umum yang juga ikut mempengaruhi besarnya kebutuhan air meliputi pola tanam, perencanaan golongan tanaman, perkolasi, koefisien tanaman, efisiensi irigasi.

1. Koefisien Tanaman

Koefisien tanaman diberikan untuk menghubungkan evapotranspirasi (Eto) dengan evapotranspirasi tanaman acuan (Etc) dan dipakai dalam rumus Penman. Koefisien yang dipakai harus didasarkan pada pengalaman yang terus menerus proyek irigasi di daerah studi. Besarnya nilai suatu Koefisien tanaman tergantung dari umur dan jenis tanaman yang ada. Koefisien tanaman ini merupakan faktor yang dapat digunakan untuk mencari besarnya air yang habis terpakai untuk tanaman untuk masa pertumbuhannya. Adapun Koefisien tanaman periode 10 harian yang akan digunakan di lokasi studi untuk padi dan polowijo mengacu pada tabel sebagai berikut :

Tabel 3. 1 koefisien tanaman padi dan jagung

periode tengah bulan	padi		jagung
	variasi biasa	variasi unggul	
1	1,1	1,1	0,5
2	1,1	1,1	0,95
3	1,1	1,05	0,96
4	1,1	1,05	1,05
5	1,1	0,95	1,02
6	1,05	0	0,95
7	0,95	-	0
8	0	-	-

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP – 01 :1986

Tabel 3. 2 Koefisien Tanaman Tebu

periode bulan	tebu
0 - 1	0,55
1 - 2	0,8
2 - 2,5	0,9
2,5 - 4	1
4 - 10	1,05
10 - 11	0,8
11 - 12	0,6
-	-

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP – 01 :1986

2. Efisiensi irigasi

Efisiensi merupakan persentase perbandingan antara jumlah air yang dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan. Air yang diambil dari sumber air yang dialirkan ke areal irigasi tidak semuanya dimanfaatkan oleh tanaman. Dalam praktek irigasi terjadi kehilangan air. Agar air yang sampai pada tanaman tepat jumlahnya seperti yang direncanakan, maka air yang dikeluarkan dari pintu pengambilan harus lebih besar dari kebutuhan. Biasanya Efisiensi Irigasi dipengaruhi oleh besarnya jumlah air yang hilang di perjalanannya dari saluran primer, sekunder hingga tersier.

Tabel 3. 3 Efisiensi Irigasi

Jaringan	Efisiensi Irigasi (%)
Primer	80
Sekunder	90
Tersier	90
Total EI	65

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP – 01 :1986

3.5 ANALISIS KEBUTUHAN DAYA LISTRIK

Daya dan energy dalam hubungannya dengan debit dapat dirumuskan sebagai berikut :

Daya Listrik

$$P = Q \rho g H \quad (\text{watt})$$

$$P = 9.8 Q H \quad (\text{Kilo watt})$$

Energi Listrik

$$E = P t \text{ etg}$$

$$E = 9.8 Q H t \text{ etg}$$

Dimana,

P : Daya listrik teoritis (KW)

T : waktu (jam)

Q : Debit (m^3/detik)

H : Tinggi jatuh air efektif (meter)

E : Energi listrik (KWh)

etg : Effisien (80%-90%)

Pada simulasi operasi waduk ini yang diperhatikan adalah besarnya produksi energi yang diperoleh dalam per tahun dengan persamaan:

$$E = P \times t$$

Dengan:

E = Energi listrik bangkitan dalam kilowatt.jam (kWh)

P = Daya yang dihasilkam (kW)

t = Waktu (jam), $365 \times 24 \text{ jam} = 8760 \text{ jam}$

3.6 ANALISIS OPTIMASI

Langkah untuk melakukan analisis opimasi dengan program linier adalah dengan membuat data masukan (input) dan membuat formulasi model yang meliputi tahapan pendefisian komponen-komponennya. Komponen model matematik tersebut meliputi variabel keputusan, fungsi tujuan dan fungsi kendala. Tahapan tersebut dapat diuraikan secara lengkap sebagai berikut ini.

3.6.1 Variabel Keputusan

Optimasi yang dilakukan dalam operasi waduk dengan deskret waktu setengah bulanan, untuk variabel keputusan berupa

besaean alokasi air yang akan didapat setelah kegiatan optimasi dilakukan dengan memasukkan factor kendala yang ada.

3.6.2 Fungsi Tujuan

Berdasarkan pada variabel keputusan seperti diatas, maka dapat disusun fungsi tujuan (objective function) seperti dibawah ini

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{n=1}^k X_i \cdot Ep_{i,o} + \sum_{j=1}^m \sum_{p=1}^l P_j \cdot Eo_{j,p} + \sum_{k=1}^m \sum_{r=1}^m T_k \cdot Eq_{k,q}$$

dimana

Z : Luas Tanam Setahun.

X_i : Luas areal tanaman untuk jenis tanaman padi, golongan *bulan ke i* (ha).

P_j : Luas areal tanaman untuk jenis tanaman polowijo, golongan *bulan ke j* (ha).

T_k : Luas areal tanaman untuk jenis tanaman Tebu, golongan *bulan ke j* (ha).

$Ep_{i,o}$: Unit kebutuhan air untuk tanaman padi yang ditanam mulai bulan *i* dengan umur *o* (ltr/dt/ha).

$Eo_{j,p}$: Unit kebutuhan air untuk tanaman polowijo yang ditanam mulai bulan *j* dengan umur *p* (ltr/dt/ha).

$Eq_{k,q}$: Unit kebutuhan air untuk tanaman tebu yang ditanam mulai bulan *j* dengan umur *p* (ltr/dt/ha).

3.6.3 Fungsi Kendala

Untuk Kasus optimasi dapat disusun fungsi kendala sebagai berikut :

a. Kendala release waduk. Tujuan dari keberadaan fungsi kendala ini supaya penjumlahan dari tiap alokasi air yang terpenuhi untuk masing-masing kebutuhan yang ada tidak melebihi dari jumlah release Waduk Wonorejo.

b. Kendala Kebutuhan air. Kendala ini mensyaratkan supaya jumlah alokasi air untuk masing-masing kebutuhan tidak melebihi dari jumlah kebutuhan maksimum. Khusus untuk kebutuhan domestik, industri dan pengglontoran (flushing) dari Waduk Wonorejo dalam pemenuhan kebutuhan mendapat prioritas utama, karena dalam operasi Waduk Wonorejo mengalokasikan pada

setiap release untuk kebutuhan domestik, industri dan penggelontoran (flushing).

c. Kendala non-negatif. Keberadaan kendala ini secara matematik berfungsi supaya setiap pengalokasian air dalam memenuhi setiap kebutuhannya dapat berada dalam daerah bilangan yang positif atau sama dengan nol.

3.7 PROGRAM LINIER *Microsoft Excel Add-Ins Solver*

Optimasi linier merupakan suatu model matematis yang mempunyai dua fungsi utama, yaitu fungsi tujuan dan fungsi kendala atau pembatas. Optimasi linier bertujuan untuk mencapai nilai maksimum atau nilai minimum dari suatu fungsi tujuan. Solver adalah program tambahan Microsoft Excel yang digunakan untuk analisa nilai agar mencapai hasil yang optimum (maksimum atau minimum) dan dituangkan menjadi suatu rumusan di dalam satu cel yang disebut sel tujuan, tetapi memiliki batasan pada nilai dari rumusan lain pada lembar kerja. Pada dasarnya Solver terdiri dari 3 (tiga) bagian, yakni:

1. Sel Target (*Target Cell*)

Merupakan bagian solver sebagai tempat dimana hasil akhir pemrosesan/eksekusi suatu formula ditempatkan. Dalam excel, fungsi tujuan berada dalam satu cell saja. Dimana di dalam cell ini terdapat formula excel dari cell lainnnya. Mencari fungsi minimum (meminimumkan Target Cell), fungsi maksimum (memaksimumkan Target Cell), atau membuat fungsi sama dengan nilai tertentu (Value of).

2. Sel Pengatur (*Adjusted Cell*)

Solver mengatur perubahan nilai pada sel yang spesifik, untuk memproduksi hasil perlu spesifikasi dari formula pada sel target. Sel pengatur ini harus mempunyai kaitan dengan sel target dalam suatu lembar kerja excel.

3. Sel Pembatas (*Constrained Cell*)

Constraint digunakan untuk membatasi nilai solver yang dapat digunakan pada suatu model tertentu dan constraint mengacu pada sel lain yang memperngaruhi formula pada sel target. Menu solver dapat dilihat dibawah ini: (Data> Analysis > Solver)



Gambar 3.1 Solver Parameter

Solver parameters :

1. Set Target Cell : merupakan sel yang dijadikan target (dalam bentuk formula/rumus)
2. Equal To : tujuan yang hendak dituju Maximal/Minimal/Nilai tertentu (Value Of)
3. By Changing Cells : yakni sel asal perhitungan sel target yang dapat dimanipulasi nilainya.
4. Subject to the Constraints: Batasan-batasan yang diatur dalam perhitungan formula misalnya: nilai yang ditentukan harus positif ($x \geq 0$).

3.8 OPERASI PENGATURAN PELEPASAN AIR WADUK

Pola operasi waduk adalah suatu acuan / pedoman pengaturan air untuk pengoperasian waduk-waduk yang disepakati bersama oleh para pemanfaat air dan pengelola melalui Panitia Tata Pengaturan Air (PTPA).

Pola pengoperasian suatu waduk dimaksudkan sebagai pedoman pengaturan air untuk memenuhi berbagai kebutuhan air dan pengendali banjir. Bertujuan untuk memanfaatkan air secara optimal dengan cara mengalokasikan secara proporsional sedemikian rupa sehingga tidak terjadi konflik antar kepentingan. Simulai tampungan waduk dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$S_{t+1} = S_t + I_t - E_t - O_t$$

$$0 \leq S_t \leq Kw$$

Keterangan :

t = Jumlah diskret waktu (24 periode 15harian)

- S_{t+1} =Tampungan (storage) waduk saat awal ke t (m^3)
 S_t = Tampungan (storage)wadu saat akhir ke t (m^3)
 I_t = Masukan (Inflow) air ke dalam waduk saat ke t (m^3)
 E_t = Kehilangan air akibat evaporasi di waduk saat ke t (m^3)
 O_t = Pelepasan (Outflow)air dari waduk saat ke t (m^3)
 Kw = Kapasitas waduk (m^3)
 It = Masukan (inflow) air ke dalam waduk saat ke t (m^3)

Dalam simulasi operasi waduk untuk mencapai hasil yang optimal, tingkat keandalan waduk dihitung dengan persamaan :

$$R = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

- R = Tingkat keandalan waduk (%)
 n = Jumlah Kegagalan Operasi waduk selama periode waktu setengah bulanan
 N = Panjang data periode waktu setengah bulan

BAB IV METODOLOGI

4.1 PERSIAPAN

Tahap persiapan merupakan langkah awal untuk proses pengerjaan tugas akhir terapan yang meliputi:

- a. Mengurus surat-surat permohonan data penunjang yang diperlukan, surat pengantar dari instansi yang terkait
- b. Mencari informasi dan mengumpulkan data dari instansi yang terkait, Jasa Tirta I Malang, dan PU Jawa Timur.
- c. Mencari, mengumpulkan dan mempelajari studi literature dari segala bentuk kegiatan yang dapat mendukung dalam penyusunan tugas akhir.

4.2 PENGUMPULAN DATA

Data yang menunjang digunakan dalam tugas akhir terapan ini antara lain sebagai berikut :

4.2.1 Data Perencanaan Pembangunan Waduk Wonorejo

Data perencanaan pembangunan waduk wonorejo yang akan dianalisa untuk mengetahui kapasitas efektif, kapasitas mati dan kapasitas total di waduk wonorejo.

4.2.2 Data Debit

Data debit ini diperlukan untuk mengetahui besarnya debit inflow yang nantinya akan dibuat debit andalan sebagai dasar debit outflow untuk PLTA. Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data debit inflow selama 10 tahun.

4.2.3 Data Curah Hujan

Data curah hujan di ambil dari stasiun-stasiun penakar hujan yang berpengaruh terhadap daerah studi. Data-data curah hujan diambil dalam jangka waktu lima belas tahun terakhir. Data curah hujan tersebut digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata.

4.2.4 Data Irigasi

Data Irigasi meliputi luas lahan yang terairi, pola tata tanam eksisting.

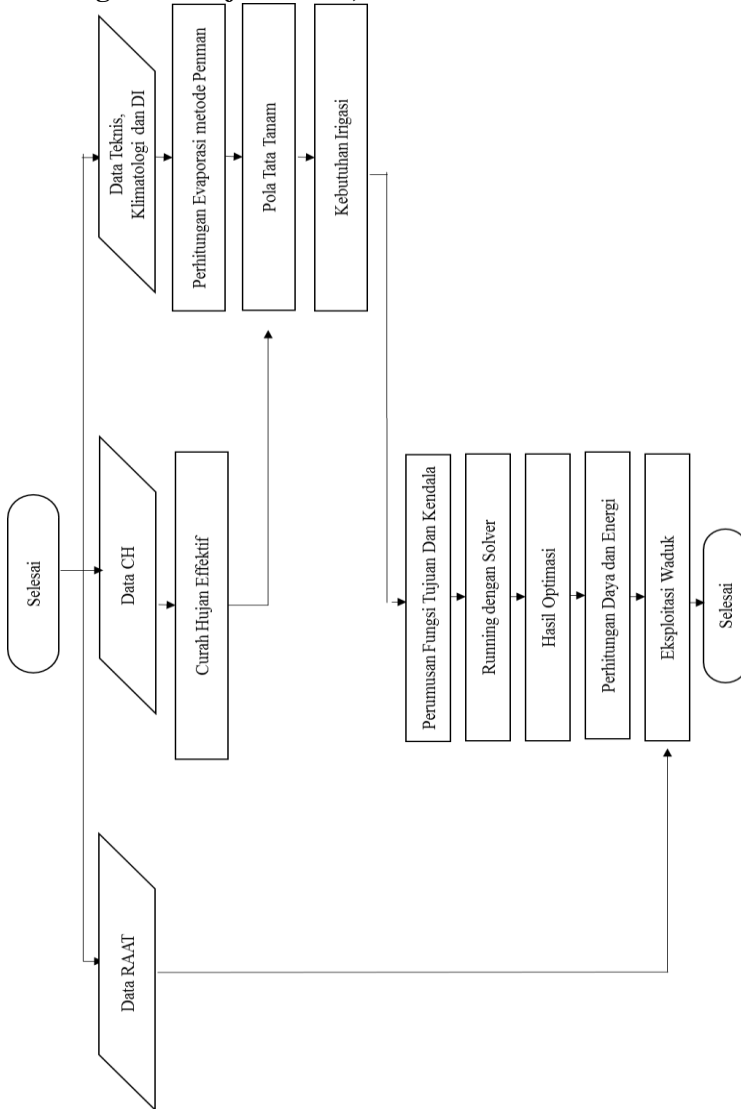
4.2.6 Data Klimatologi

Data klimatologi sangat penting dalam analisa hidrologi pada suatu daerah aliran, karena klimatologi berhubungan erat dengan karakteristik daerah aliran. Yang termasuk dalam data klimatologi adalah temperatur, kelembapan udara, kecepatan angin, dan evaporasi.

4.2.7 Data Waduk dan PLTA

Meliputi data teknis waduk wonorejo dan data bangunan pembangkit listrik tenaga airnya. Data-data tersebut digunakan untuk menunjang dalam perhitungan-perhitungan yang akan dilakukan

4.3 Diagram alir (flow chart)



BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Kebutuhan Air untuk Irigasi

5.1.1 Analisa Evapotranspirasi

Evapotranspirasi ini merupakan proses evaporasi dan transpirasi yang terjadi yang diperoleh berdasarkan temperatur udara, kecepatan angin, kelembapan relatif dan lama penyinaran matahari yang terjadi di lokasi. Nilai ini akan digunakan untuk memperkirakan kebutuhan air untuk pengolahan tanah untuk padi disawah. Cara perhitungan evapotranspirasi pada bulan Januari dengan menggunakan metode Penman dengan data dibawah ini:

T = 25.02 °C

RH = 68.40 %

(n/N) = 51.68 %

U = 7.44 Km/hari = 0.31 Km/jam

NH = 2 m

Keterangan

T = Temperatur

RH = Kelembapan udara relatif

n/N = Lama Penyinaran

U = Kecepatan Angin

NH = Tinggi Pengukuran

1. Tekanan Uap Jenuh (ea)

Menggunakan table evapotranspirasi Penman saturation vapour pressure (ea) and pressure of mean air temperature (T) in °C.

Nilai (ea) diperoleh dari interpolasi $25^{\circ}\text{C} = 31.68 \text{ mbar}$ dan $25.2^{\circ}\text{C} = 32.84 \text{ mbar}$ sehingga nilai $T = 25.02^{\circ}\text{C}$

$$Ea = ((25.2-25.02) \times (32.84-31.68) / (25.2-25)) + 32.84$$

$$Ea = 32.03 \text{ mbar}$$

3. Tekanan uap nyata (ed)

$$ed = ea \times Rh$$

$$ed = 32.72 \times 68.40\%$$

$$ed = 21.91 \text{ mbar}$$

4. Perbedaan tekanan uap

$$(ea - ed) = (32.03 - 21.91) \text{ mbar}$$

$$(ea - ed) = 10.12 \text{ mbar}$$

5. Fungsi kecepatan angin

$$F(u) = 0.27 \times (1 + (U_2/100))$$

$$U_2 = U \times \text{factor koreksi NH}$$

$$U_2 = U \times \left(\frac{2}{\text{tinggi alat ukur}} \right)^{0.15}$$

$$U_2 = 0.31 \times \left(\frac{2}{2} \right)^{0.15}$$

$$U_2 = 0.31$$

$$F(u) = 0.27 \times (1 + (5.01/100))$$

$$F(u) = 0.28$$

6. Faktor pembobot (W)

Menggunakan table factor pembobot penman

$$T = 25.02^{\circ}\text{C}$$

Menggunakan Interpolasi

$$25.2^{\circ}\text{C} = 0.747$$

$$25.0^{\circ}\text{C} = 0.745$$

$$W = (25.02-25) \times (0.747-0.745)/(25.2-25)+0.76$$

$$W = 0.75$$

7. Radiasi ekstra terrestrial (ra)

Menggunakan tabel *Southern Hemisphere*

$$Ra = 16.07$$

8. Radiasi gelombang pendek (Rs)

$$Rs = (0.25 + 0.5 \times n/N) \times Ra$$

$$R_s = (0.25 + 0.5 \times 51.68) \times 16.07$$

$$R_s = 8.50 \text{ mm/hr}$$

9. Radiasi gelombang pendek netto (R_{ns})

$$R_{ns} = R_s (1 - \sigma)$$

$$R_{ns} = 8.50 (1 - 0.25)$$

$$R_{ns} = 6.38 \text{ mm/hari}$$

10. Radiasi gelombang panjang (R_{nl})

$$R_{nl} = f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$$

$$R_{nl} = 15.74 \times 0.13 \times 0.57$$

$$R_{nl} = 1.19$$

a. Mencari nilai $f(T)$

$$F(t) = S \cdot T^4$$

$$S = 117.74 \times 10^{-9} \text{ gcal/cm}^2/\text{hari}$$

$$S = 117.74 \times 10^{-9} / 54$$

$$T = t + 273^\circ\text{K}$$

$$T = 25.02 + 273^\circ\text{K}$$

$$F(t) = (117.74 \times 10^{-9} / 54) \times (25.02 + 273^\circ\text{K})$$

$$F(t) = 15.74$$

b. Mencari nilai $f(ed)$

$$= 0.34 - 0.044 \sqrt{ed}$$

$$= 0.34 - 0.044 \sqrt{21.91}$$

$$= 0.13$$

c. Mencari nilai $f(n/N)$

$$f(n/N) = 0.1 + 0.9 (n/N)$$

$$f(n/N) = 0.1 + 0.9 (51.68/100)$$

$$f(n/N) = 0.57$$

11. Radiasi netto (R_n)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_n = 6.38 - 1.19$$

$$R_n = 5.18 \text{ mm/hari}$$

12. Radiasi term

$$(W \times R_n) = 0.75 \times 5.18$$

$$(W \times R_n) = 3.885$$

13. Faktor Koreksi

Diperoleh dari table *Adjustment Factor (c) in presented penman equation.*

Nilai C dari interpolasi nilai

$$Rs\ 6 = 1.06$$

$$Rs\ 9 = 1.10$$

Sedangkan $Rs = 8.50$

$$C = (8.50-6) \times (1.1-1.06)/(9-6)+1.06$$

$$C = 1.09$$

14. Evapotranspirasi (Eto)

$$\begin{aligned} Eto &= c \{ W \times Rn + (1-W) \times f(u) \times (ea-ed) \} \\ &= 1.09 \{ 0.75 \times 5.18 + (1-0.75) \times 0.28 \times 10.12 \} \\ &= 5.00 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

Secara keseluruhan perhitungan Evapotranspirasi Potensial dengan metode penman akan direkap pada tabel 5.1 Perhitungan Metode Penman.

Tabel 5. 1 Perhitungan Metode Penman

No	Data Bulanan	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nov	Des
I	Data													
1	Temperatur (T)	(⁰ C)	25.02	25.03	25.42	24.64	23.70	22.99	22.82	22.52	23.42	24.08	24.84	24.08
2	Kelembaban Udara Relatif (RH)	(%)	68.40	68.06	69.43	70.48	68.69	69.32	65.88	65.61	66.78	68.81	70.47	68.92
3	Lama Penyinaran (n/N)	(%)	51.68	48.02	54.40	61.21	68.58	74.09	77.79	80.46	83.28	73.51	61.66	42.94
4	Kecepatan Angin (U)	(km/jam)	18.04	16.59	15.73	15.01	14.15	18.36	23.64	27.66	35.55	33.14	24.68	24.81
		(m/dtk)	5.01	4.61	4.37	4.17	3.93	5.10	6.57	7.68	9.87	9.21	6.85	6.89
5	Tinggi Pengukuran	(m)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
II	Perhitungan													
1	Tekanan uap jenuh (ea)	(m - bar)	32.03	32.02	33.19	31.62	30.37	28.13	28.41	28.92	30.85	30.54	31.98	30.54
2	Tekanan uap aktual (ed)	(m - bar)	21.91	21.79	23.04	22.29	20.86	19.50	18.71	18.98	20.60	21.01	22.54	21.05
3	Perbedaan tekanan uap (ea - ed)	(m - bar)	10.12	10.22	10.14	9.34	9.51	8.63	9.69	9.94	10.25	9.53	9.45	9.49
4	Fungsi angin ; f(u)=0.27 x (1+U/100)	(km/hari)	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29	0.29
5	Faktor pembobot (W)	(mm/hari)	0.75	0.75	0.75	0.74	0.75	0.73	0.73	0.73	0.74	0.74	0.75	0.74
6	Radiasi ekstra terestrial (ra)	(mm/hari)	16.07	16.09	15.51	14.43	13.13	12.44	12.74	13.73	14.91	15.79	15.97	16.06
7	Radiasi gelombang pendek (Rs)	(mm/hari)	8.50	8.19	8.43	8.38	8.14	8.09	8.54	9.40	10.43	10.22	9.31	7.74
8	Radiasi gelombang pendek netto (Rns)	(mm/hari)	6.38	6.15	6.33	6.28	6.11	6.07	6.40	7.05	7.82	7.66	6.98	5.80
9	Radiasi gelombang panjang (Rnl) :													
a. f(T)			15.74	15.74	15.83	15.66	15.46	15.32	15.28	15.22	15.41	15.54	15.70	15.54
b. f(ed) =		(m - bar)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14
c. f(n/N) =			0.57	0.53	0.59	0.65	0.72	0.77	0.80	0.82	0.85	0.76	0.65	0.49
10	Radiasi gelombang panjang netto (Rnl)	(mm/hari)	1.19	1.13	1.20	1.35	1.54	1.71	1.83	1.86	1.84	1.64	1.35	1.04
11	Radiasi netto (Rn)	(mm/hari)	5.18	5.02	5.12	4.93	4.57	4.35	4.57	5.19	5.99	6.02	5.63	4.76
12	Faktor koreksi ; C		1.09	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.09	1.11	1.14	1.13	1.11
13	Eto = C {W/Rn + (1-W) x f(T) x (ea - e _d)}	(mm/hari)	5.00	4.83	4.94	4.70	4.40	4.13	4.45	5.06	5.95	5.87	5.42	4.51

5.1.2 Analisa Hidrologi

5.1.3 Curah Hujan Rata-rata

Stasiun hujan yang berada disekitar waduk wonorejo terdapat tiga stasiun hujan diantaranya Stasiun Hujan Bendungan, Stasiun Hujan Sumber Pandan dan Stasiun Bagong. Data curah hujan yang tersedia dari tahun 2000 hingga tahun 2014 dari stasiun hujan Bendungan, Sumber Pandan dan Bagong. Data tersebut kemudian direkap menjadi data hujan 10 harian, dan selanjutnya akan dilakukan curah hujan rata-rata.

Contoh perhitungan pada bulan januari tahun 2000 periode I :

Jumlah stasiun pengamat (n) = 3 Buah

Stasiun Hujan Bendungan = 56 mm

Stasiun Hujan Sumber Pandan = 160 mm

Stasiun Hujan Bagong = 65 mm

Jumlah = 281 mm

Maka,

Curah Hujan rata-rata = $1/3 (281\text{mm}) = 94 \text{ mm}$

Untuk perhitungan bulan dan tahun yang lain direkap dalam tabel 5.4

Tabel 5. 2 Data Curah Hujan 10 Harian di Stasiun Hujan Sumber Pandan

Tahun	Januari			Februari			Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus			September			Oktober			Nopember			Desember		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
2000	160	153	81	47	202	164	85	22	203	269	271	36	188	45	43	12	11	5	0	0	108	40	0	2	0	0	20	5	164	154	223	239	126	0	132	46
2001	155	16	171	197	80	40	85	212	224	284	170	59	173	25	76	172	53	11	4	36	61	0	0	0	42	11	8	127	127	299	31	242	45	35	109	100
2002	18	287	378	249	294	180	92	152	311	143	353	89	11	75	0	10	0	0	7	27	13	0	0	8	3	0	4	0	0	6	12	13	33	19	185	324
2003	216	22	355	204	194	71	129	115	88	66	11	0	102	46	0	25	88	0	0	0	2	0	2	0	0	36	5	202	0	96	69	343	220	393	95	127
2004	87	209	216	113	39	120	82	126	103	159	24	62	0	64	199	16	20	0	0	14	0	0	0	22	0	19	0	0	0	18	142	82	326	172	75	151
2005	184	193	275	11	293	212	192	47	113	256	175	81	7	0	0	0	53	149	116	16	0	0	0	0	8	0	96	3	57	110	0	14	51	241	185	232
2006	320	62	219	126	116	83	38	59	39	101	196	33	78	11	131	0	0	9	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2007	160	153	81	249	294	180	82	126	103	284	170	59	173	25	76	12	11	5	116	16	0	0	0	0	0	36	5	0	0	18	12	13	33	241	185	232
2008	141	42	135	193	9	74	186	132	161	86	45	48	149	85	50	0	7	0	0	0	0	0	37	0	19	0	0	261	99	71	248	295	65	41	385	106
2009	91	54	202	73	176	208	53	0	102	122	64	117	57	116	246	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	9	193	88	54	0	177	219	123	60	195
2010	187	41	144	189	318	214	342	162	256	173	83	254	353	220	283	167	138	38	37	112	115	0	0	65	251	293	235	29	281	363	250	38	199	230	142	87
2011	216	32	236	48	60	129	114	95	258	86	52	71	329	62	37	0	46	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	26	205	109	133	121	185	183
2012	179	295	27	43	212	121	271	9	114	347	168	14	78	0	3	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	80	29	40	116	212	323	304	176
2013	160	109	174	242	365	0	148	139	240	240	400	22	48	265	661	171	82	238	46	41	97	0	10	0	0	0	0	0	31	62	51	233	170	96	225	0
2014	113	153	60	72	92	128	37	158	0	156	77	176	55	106	0	0	160	168	67	77	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	396	152	192	177	127	

Tabel 5. 3 Data Curah Hujan10 Harian di Stasiun Hujan Bagong

Tahun	Januari			Februari			Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus			September			Oktober			Nopember			Desember		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
2000	65	73	114	38	71	53	94	53	161	94	72	15	135	65	17	92	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	18	188	61	18	109	63	0	139	0
2001	118	37	71	174	83	6	74	161	124	47	60	98	16	2	72	81	46	0	0	0	10	0	3	0	0	0	0	48	14	77	0	0	0	0	0	0
2002	157	123	244	82	128	31	35	38	60	154	108	55	19	27	1	0	0	0	0	13	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	10	1	0	109	66	
2003	80	42	105	154	47	36	228	61	0	0	0	0	23	15	0	10	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	29	18	0	35	0	113	70	252	53	4
2004	67	0	176	53	49	30	36	76	22	0	0	148	0	70	158	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	56	27	201	156	8	85
2005	6	42	57	38	83	0	51	0	63	53	23	8	0	0	0	0	31	2	31	0	0	0	0	0	0	34	9	0	19	25	0	13	10	139	176	47
2006	244	5	28	50	109	85	15	50	77	78	283	8	64	7	5	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	61	142
2007	9	43	163	95	79	94	6	35	161	24	116	109	7	71	13	25	3	7	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	6	69	144	1	2	83	54	223
2008	68	49	105	87	78	121	166	83	214	40	77	57	53	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	39	26	164	48	108	6	32	37
2009	68	49	105	87	78	121	166	83	214	40	77	57	53	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	39	26	164	48	108	6	32	37
2010	111	101	115	112	122	21	109	136	250	72	167	227	191	185	301	73	15	11	0	0	20	0	3	16	145	135	0	16	40	166	391	10	99	224	48	50
2011	173	49	25	91	89	30	78	112	42	148	35	44	125	126	7	7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	19	36	68	24	122	90	
2012	128	218	113	63	91	140	227	62	45	139	62	68	51	77	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	27	42	7	4	35	109	88	136	85
2013	147	90	93	80	181	76	63	48	37	71	177	37	0	19	76	66	67	79	25	64	55	11	0	4	0	0	0	0	2	16	44	128	73	39	136	73
2014	174	102	96	0	0	62	0	50	94	10	18	75	40	18	0	0	25	45	40	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	58	126	201	198	

Tabel 5. 4 Data Curah Hujan10 Harian di Stasiun Hujan Bendungan

Tahun	Januari			Februari			Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus			September			Oktober			Nopember			Desember		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
2000	56	32	115	157	142	35	166	104	178	64	136	92	102	150	28	0	64	0	0	0	122	0	0	0	0	0	0	0	151	140	398	357	219	50	135	29
2001	277	138	240	372	60	47	82	174	207	445	168	71	140	8	83	194	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	31	104	0	0	0	0	0	0
2002	27	308	311	238	254	65	59	411	131	170	263	46	0	19	20	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	255	148	
2003	218	0	126	176	368	59	153	263	62	182	32	11	13	15	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	54	0	86	30	93	146	404	72	55
2004	8	40	95	100	22	76	46	174	98	0	12	113	0	81	146	105	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	28	246	144	42	34
2005	84	73	95	15	85	128	174	39	215	180	119	0	0	0	0	4	37	11	101	26	0	0	0	0	2	38	73	0	66	62	0	41	122	236	217	69
2006	89	141	65	143	201	56	36	89	6	158	450	59	78	15	92	0	14	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	116	198
2007	18	63	119	161	76	230	16	90	170	215	339	113	7	0	0	51	10	116	0	17	0	0	5	5	0	18	0	2	7	101	328	0	18	378	170	237
2008	422	97	53	70	37	78	229	176	276	156	39	93	27	83	40	0	0	0	0	0	0	19	13	0	0	0	53	197	179	0	420	162	114	119	14	
2009	130	113	61	70	37	78	229	176	276	156	39	93	27	83	40	0	0	0	0	0	0	19	13	0	0	0	53	197	179	0	420	162	114	119	14	
2010	130	113	61	186	239	36	78	94	215	28	120	153	194	87	170	107	146	62	0	0	59	5	16	87	90	120	91	49	323	281	325	30	110	235	81	76
2011	44	70	116	57	47	27	62	80	117	68	47	89	123	54	15	38	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	29	137	143	188	45	79	39	
2012	166	190	46	26	122	219	121	34	96	129	145	12	180	39	9	0	0	7	0	44	2	0	0	0	0	0	5	12	93	58	50	56	197	278	150	169
2013	159	47	175	116	282	77	42	81	134	137	227	27	28	73	176	41	167	56	57	37	52	0	0	0	0	4	0	0	0	98	76	143	55	76	166	67
2014	39	81	60	0	0	99	72	102	57	153	24	88	79	105	0	0	34	189	33	92	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	233	162	135	189	201	

Tabel 5. 5 Perhitungan Curah Hujan Rata-rata dengan Metode Aritmatika

Tahun	Januari			Februari			Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus			September			Oktober			Nopember			Desember		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
2000	94	86	103	81	138	84	115	60	181	142	160	48	142	87	29	35	25	2	0	0	82	13	0	1	0	0	7	8	168	118	213	235	136	17	135	25
2001	183	64	161	248	74	31	80	182	185	259	133	76	110	12	77	149	77	4	1	12	24	0	1	0	14	4	3	91	57	160	10	81	15	12	36	33
2002	67	239	311	190	225	92	62	200	167	156	241	63	10	40	7	3	0	0	2	15	4	0	0	4	1	0	1	0	0	2	4	8	11	6	183	179
2003	171	21	195	178	203	55	170	146	50	83	14	4	46	25	0	13	29	1	0	0	2	0	1	0	0	12	22	91	0	72	33	183	145	350	73	62
2004	54	83	162	89	37	75	55	125	74	53	12	108	0	72	168	40	34	0	0	5	0	0	0	7	0	6	5	0	0	6	81	46	258	157	42	90
2005	91	103	142	21	154	113	139	29	130	163	106	30	2	0	0	1	40	54	83	14	0	0	0	0	3	24	59	1	47	66	0	23	61	205	193	116
2006	218	69	104	106	142	75	30	66	41	112	310	33	73	11	76	0	6	8	0	12	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	43	59	113	
2007	62	86	121	168	150	168	35	84	145	174	208	94	62	32	30	29	8	43	39	11	0	0	3	2	0	18	2	1	4	63	161	5	18	234	136	231
2008	210	63	98	117	41	91	194	130	217	94	54	66	76	72	30	0	2	0	0	0	0	19	4	6	0	0	124	112	92	137	254	112	54	179	52	
2009	96	72	123	77	97	136	149	86	197	106	60	89	46	83	95	0	0	0	0	0	13	0	6	4	0	0	3	102	108	86	55	215	163	81	70	82
2010	143	85	107	162	226	90	176	131	240	91	123	211	246	164	251	116	100	37	12	37	65	2	6	56	162	183	109	31	215	270	322	26	136	230	90	71
2011	144	50	126	65	65	62	85	96	139	101	45	68	192	81	20	15	15	3	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	8	20	120	96	130	63	129	104
2012	158	234	62	44	142	160	206	35	85	205	125	31	103	39	4	0	0	2	0	37	1	0	0	0	0	0	2	13	72	31	31	69	173	230	197	143
2013	155	82	147	146	276	51	84	89	137	149	268	29	25	119	304	93	105	124	43	47	68	4	3	1	0	1	0	0	11	59	57	168	99	70	176	47
2014	109	112	72	24	31	96	36	103	50	106	40	113	58	76	0	0	73	134	47	72	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	236	124	151	189	175	

5.1.4 Curah Hujan Efektif

Curah Hujan efektif adalah air yang jatuh di suatu daerah dan dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman.

Perumusan untuk menentukan nilai R_{80} dengan menggunakan metode *Basic Year* :

- Menentukan rangking dari urutan nilai data yang paling kecil ke data yang nilainya paling besar.
- Menentukan rangking dari perhitungan R_{80} , yang dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$\begin{aligned} R_{80} &= n/5 + 1 \\ &= 15/5 + 1 \end{aligned}$$

$$R_{80} = 4$$

Dari perhitungan diatas, maka R_{80} adalah curah hujan pada rangking ke-4.

Tabel 5. 6 Jumlah Curah Hujan Tahunan

Tahun	Σ Curah Hujan
2000	2767
2001	2658
2002	2497
2003	2451
2004	1855
2005	2214
2006	1708
2007	2626
2008	2701
2009	2590
2010	4723
2011	2045
2012	2633
2013	3240
2014	1736

Dari tabel 5.4 Curah Hujan Rata-rata metode Aritmatika didapatkan jumlah curah hujan tiap tahun.

5.1.2.1 Probabilitas Curah Hujan Tahunan.

Tabel 5. 7 Probabilitas Curah Hujan

Tahun	Σ Curah Hujan	Prob %	Σ Curah Hujan	Tahun
2000	2767	100	1708	2006
2001	2658	93	1736	2014
2002	2497	87	1855	2004
2003	2451	80	2045	2011
2004	1855	73	2214	2005
2005	2214	67	2451	2003
2006	1708	60	2497	2002
2007	2626	53	2590	2009
2008	2701	47	2626	2007
2009	2590	40	2633	2012
2010	4723	33	2658	2001
2011	2045	27	2701	2008
2012	2633	20	2767	2000
2013	3240	13	3240	2013
2014	1736	7	4723	2010

Berikut merupakan penjelasan perhitungan tabel 5.7 probabilitas curah hujan.

Kolom 1 : Tahun hujan dari 2000 hingga tahun 2014

Kolom 2 : Jumlah curah hujan yang terjadi selama satu tahun

Kolom 3 : Peluang terjadinya hujan $(15/15) * 100\%$

Kolom 4 : Data jumlah curah hujan diurutkan dari yang terkecil hingga yang terbesar

Kolom 5 : tahun yang mengikuti dari jumlah curah hujan tersebut. Sehingga didapatkan curah hujan efektif pada tahun 2011 sebesar 2045 mm. Berikut ini merupakan rekap curah hujan efektif.

Tabel 5. 8 Curah Hujan R80

No	Peta	Januari			Februari			Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus			September			Oktober			November			Desember			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3							
1	200	228	69	104	105	142	75	31	66	41	112	200	33	73	11	76	0	6	8	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	59	113			
2	95	51	78	40	24	31	76	35	87	19	103	34	88	45	70	0	0	129	33	55	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	210	105	109	122	109		
3	87	54	83	162	89	37	75	55	125	74	53	12	108	0	72	168	40	34	0	0	5	0	0	0	0	0	6	5	0	0	6	81	46	228	89	37	75	
4	80	144	50	126	65	6	62	76	56	129	101	45	68	192	81	20	15	15	3	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	8	20	120	56	130	63	129	104
5	73	91	103	142	21	154	113	129	29	131	168	106	30	2	0	0	1	40	34	83	14	0	0	0	0	0	3	24	59	1	47	66	0	23	61	205	193	116
6	67	121	21	155	178	203	5	100	146	50	83	14	4	46	75	0	13	29	1	0	0	2	0	1	0	0	12	22	91	0	72	33	138	145	330	73	62	
7	60	67	229	311	190	225	9	62	200	167	155	241	63	10	40	7	3	0	0	2	5	4	0	0	4	1	0	1	0	0	0	2	4	8	11	6	103	179
8	53	194	67	120	77	9	165	149	86	197	105	60	89	46	88	95	0	0	0	0	13	0	6	4	0	0	3	102	108	86	55	265	143	81	70	82		
9	47	62	86	121	168	150	180	3	84	145	174	208	94	62	12	30	29	8	43	39	11	0	0	3	2	0	10	2	1	4	6	168	5	18	234	136	201	
10	40	158	234	62	44	142	160	206	35	85	205	125	31	113	39	4	0	0	2	0	37	1	0	0	0	0	2	13	72	31	31	69	173	230	197	143		
11	33	168	64	161	249	74	31	80	182	166	229	133	76	110	12	77	119	77	4	1	12	24	0	1	0	14	4	3	91	57	160	10	81	15	12	36	33	
12	27	220	63	98	117	41	91	194	130	127	94	54	66	76	72	30	0	2	0	0	0	0	0	19	4	6	0	0	104	112	9	137	234	112	54	179	52	
13	20	94	86	103	81	138	8	115	60	100	142	160	48	142	87	29	35	25	2	0	0	13	0	1	0	0	7	8	188	118	123	235	135	17	135	25		
14	13	155	82	147	146	176	51	84	89	137	149	188	29	25	119	314	19	105	124	43	47	68	4	3	1	0	1	0	0	11	29	57	168	99	70	176	47	
15	7	149	85	107	162	216	91	105	131	210	91	123	211	246	154	161	116	110	37	12	37	66	2	6	56	162	188	119	31	265	200	312	26	135	230	90	71	
160	144	50	126	65	6	62	76	56	129	101	45	68	192	81	20	15	15	3	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	8	20	120	56	130	63	129	104

5.1.5 Curah Hujan Efektif untuk Tanaman Padi, Tebu dan Palawija

Analisa perhitungan curah hujan efektif untuk sawah digunakan 70% dari curah hujan andalan 80% dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = Eff \times R_{80}$$

Dimana :

Re = Curah Hujan Efektif untuk sawah (mm/hari)

R_{80} = Curah Hujan 10 harian dengan probabilitas terjadi 80% selama setahun

Eff = effective fraction yang nilainya :

- 70% untuk padi (dengan menggunakan R_{80})
- 60% untuk palawija (dengan menggunakan R_{80})
- 50% untuk tebu (dengan menggunakan R_{80})

Selanjutnya perhitungan curah hujan efektif yang dapat dilihat pada tabel perhitungan Re Padi, Re Palawija dan Re Tebu.

Tabel 5. 9 Curah Hujan Effektiv Padi, Tebu dan Palawija

Bulan	Dekade	R80	Re Padi	Re Tebu	Re Pol
		mm	(mm/hari)	(mm/hari)	(mm/hari)
Januari	1	144.33	10.10	7.22	8.66
	2	50.33	3.52	2.52	3.02
	3	125.67	8.80	6.28	7.54
Februari	1	65.33	4.57	3.27	3.92
	2	65.33	4.57	3.27	3.92
	3	62.00	4.34	3.10	3.72
Maret	1	84.67	5.93	4.23	5.08
	2	95.67	6.70	4.78	5.74
	3	139.00	9.73	6.95	8.34
April	1	100.67	7.05	5.03	6.04
	2	44.67	3.13	2.23	2.68
	3	68.00	4.76	3.40	4.08
Mei	1	192.33	13.46	9.62	11.54
	2	80.67	5.65	4.03	4.84
	3	19.67	1.38	0.98	1.18
Juni	1	15.00	1.05	0.75	0.90
	2	15.33	1.07	0.77	0.92
	3	2.67	0.19	0.13	0.16
Juli	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.67	0.05	0.03	0.04
	3	0.00	0.00	0.00	0.00
Agustus	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	2.67	0.19	0.13	0.16
	3	0.00	0.00	0.00	0.00
September	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00
Oktober	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	8.33	0.58	0.42	0.50
	3	19.67	1.38	0.98	1.18
November	1	120.33	8.42	6.02	7.22
	2	96.00	6.72	4.80	5.76
	3	129.67	9.08	6.48	7.78
Desember	1	63.33	4.43	3.17	3.80
	2	128.67	9.01	6.43	7.72
	3	104.00	7.28	5.20	6.24

Berikut ini merupakan penjelasan dari tabel 5.9 perhitungan curah hujan efektif untuk tanaman padi, tebu, dan palawija

- Kolom 1 : Bulan
- Kolom 2 : Dekade
- Kolom 3 : Curah hujan efektif / R_{80} (didapatkan pada tabel 5.8 dengan cara metode aritmatika)
- Kolom 4 : Re Padi

Curah hujan efektif pada tanaman padi dihitung dengan cara :

Misal pada Januari periode 1 :

$$\begin{aligned} \text{Re padi} &= R_{80} \times 0.7 \\ &= 144.33 \times 0.7 \\ &= (144.33/10) \times 0.7 \\ &= 10.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kolom 5 : Re Tebu
- Curah hujan efektif pada tanaman tebu dihitung dengan cara :

Misal pada Januari periode 1 :

$$\begin{aligned} \text{Re tebu} &= R_{80} \times 0.5 \\ \text{Re padi} &= 144.33 \times 0.5 \\ &= (144.33/10) \times 0.5 \\ &= 7.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kolom 6 : Re Palawija
- Curah hujan efektif pada tanaman palawija dihitung dengan cara :

Misal pada Januari periode 1 :

$$\begin{aligned} \text{Re palawija} &= R_{80} \times 0.6 \\ \text{Re palawija} &= R_{80} \times 0.6 \\ &= 144.33 \times 0.6 \\ &= (144.33/10) \times 0.6 \\ &= 8.66 \text{ mm} \end{aligned}$$

5.1.6 Kebutuhan Air Penyiapan Lahan (LP)

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (LP) dapat dihitung dengan menggunakan data evapotranspirasi potensial (E_0) yang kemudian dapat dihitung nilai $E_0 + P$, Kemudian dapat diperoleh nilai tinggi air yang dibutuhkan.

Tabel 5. 10 Perhitungan Kebutuhan Air Penyiapan Lahan (LP)

No	Parameter	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1	E_0	mm/hari	5.00	4.83	4.94	4.70	4.40	4.13	4.45	5.06	5.95	5.87	5.42	4.51
2	$E_0 = (E_0 \times 1.1)$	mm/hari	5.50	5.31	5.44	5.17	4.84	4.54	4.89	5.57	6.54	6.45	5.97	4.96
3	P	mm/hari	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
4	$M = (E_0 + P)$	mm/hari	8.00	7.81	7.94	7.67	7.34	7.04	7.39	8.07	9.04	8.95	8.47	7.46
5	T	hari	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
6	S	mm	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
7	$K = MT/S$		0.96	0.94	0.95	0.92	0.88	0.85	0.89	0.97	1.09	1.07	1.02	0.90
8	$LP = (M \cdot e^k) / (e^k - 1)$	mm/hari	12.96	12.84	12.92	12.75	12.53	12.35	12.57	13.01	13.66	13.60	13.27	12.61
		l/dt/ha	1.50	1.49	1.50	1.48	1.45	1.43	1.45	1.51	1.58	1.57	1.54	1.46

Contoh perhitungan pada bulan januari.

1. E_0 (Tabel 5.1 Perhitungan Metode Penman)

Evapotranspirasi (E_0)

$$\begin{aligned}
 E_0 &= c \{ W \times R_n + (1-W) \times f(u) \times (e_a - e_d) \} \\
 &= 1.09 \{ 0.75 \times 5.18 + (1-0.75) \times 0.28 \times 10.12 \} \\
 &= 5.00 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

2. E_0

$$\begin{aligned}
 E_0 &= E_0 \times 1.1 \\
 &= 5.00 \text{ mm/hari} \times 1.1 \\
 &= 5.5 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

3. P (Perkolasi) dalam (mm/hari)

Sepanjang tahun ditetapkan 2.5 mm/hari

4. M

$$\begin{aligned}
 M &= E_0 + P \\
 &= 5.5 \text{ mm/hari} + 2.5 \text{ mm/hari} \\
 &= 8.0 \text{ mm/hari}
 \end{aligned}$$

5. T (Jangka waktu penyiapan tanah)
Ditetapkan 30 hari
6. S merupakan Kebutuhan air untuk penjenruhan ditambah dengan lapisan air 50 mm, sehingga menjadi 250 mm tiap bulan.
7. $K = M.T/S$
 $= (8\text{mm/hr} \times 30\text{hr}) / 250\text{mm}$
 $= 0.96$

5.1.7 Perhitungan Pergantian Lapisan Air

Pergantian lapisan air dilakukan sebanyak dua kali, masing-masing 50 mm selama sebulan dan dua bulan. Lama pengolahan lahan 20 – 30 hari. Dengan diasumsikan lama pengolahan lahan 30 hari, maka WLR dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{WLR} = 50 \text{ mm} / 30 \text{ hari} = 1.70 \text{ mm/hari.}$$

5.1.8 Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Dalam mencari besarnya kebutuhan air untuk irigasi tanaman, dilakukan analisa kebutuhan air yang dipengaruhi oleh faktor pengolahan tanah, perkolasi, curah hujan efektif, evapotranspirasi, efisiensi irigasi, koefisien tanaman serta factor lainnya yang telah dibahas sebelumnya. Berikut ini disajikan contoh perhitungan kebutuhan air irigasi pada nopember I untuk awal tanam padi, tebu untuk semua masa tanam dan juli 1 untuk awal tanam palawija.

Tabel 5. 11 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Padi untuk Awal Tanam
Nopember I

Musim	Bulan	Dekade	Eto	R 80	PADI							
			mm/hari	mm/hari	Re-padi	P	WLR	kĈ	Ėc	NFR		DR
					mm/hari	mm/hari	mm/hari		mm/hari	mm/hari	l/dt/ha	l/dt/ha
Hujan	Nop	1	5.42	144.33	10.10	2.50		LP	13.27	5.67	0.66	1.01
		2	5.42	50.33	3.52	2.50		1.10	5.97	4.94	0.57	0.88
		3	5.42	125.67	8.80	2.50		1.10	5.97	-0.33	-0.04	0.00
	Des	1	4.51	65.33	4.57	2.50	1.70	1.10	4.96	4.59	0.53	0.82
		2	4.51	65.33	4.57	2.50	1.70	1.10	4.96	4.59	0.53	0.82
		3	4.51	62.00	4.34	2.50	1.70	1.10	4.96	4.82	0.56	0.86
	Jan	1	5.00	84.67	5.93	2.50	1.70	1.05	5.25	3.52	0.41	0.63
		2	5.00	95.67	6.70	2.50	1.70	1.00	5.00	2.50	0.29	0.45
		3	5.00	139.00	9.73	2.50	1.70	0.95	4.75	-0.78	-0.09	0.00
	Feb	1	4.83	100.67	7.05	2.50		0.00	0.00	-4.55	-0.53	0.00
		2	4.83	44.67	3.13	2.50		0.00	0.00	-0.63	-0.07	0.00
		3	4.83	68.00	4.76	2.50		0.00	0.00	-2.26	-0.26	0.00
Kemarau 1	Mar	1	4.94	192.33	13.46	2.50		LP	12.92	1.96	0.23	0.35
		2	4.94	80.67	5.65	2.50		1.10	5.44	2.29	0.27	0.41
		3	4.94	19.67	1.38	2.50		1.10	5.44	6.56	0.76	1.17
	Apr	1	4.70	15.00	1.05	2.50	1.70	1.10	5.17	8.32	0.96	1.48
		2	4.70	15.33	1.07	2.50	1.70	1.10	5.17	8.30	0.96	1.48
		3	4.70	2.67	0.19	2.50	1.70	1.10	5.17	9.19	1.06	1.64
	Mei	1	4.40	0.00	0.00	2.50	1.70	1.05	4.62	8.82	1.02	1.57
		2	4.40	0.67	0.05	2.50	1.70	1.00	4.40	8.55	0.99	1.52
		3	4.40	0.00	0.00	2.50	1.70	0.95	4.18	8.38	0.97	1.49
	Juni	1	4.13	0.00	0.00	2.50		0.00	0.00	2.50	0.29	0.45
		2	4.13	2.67	0.19	2.50		0.00	0.00	2.31	0.27	0.41
		3	4.13	0.00	0.00	2.50		0.00	0.00	2.50	0.29	0.45
Kemarau 2	Juli	1	4.45	0.00	0.00	2.50		LP	12.57	15.07	1.74	2.68
		2	4.45	0.00	0.00	2.50		1.10	4.89	7.39	0.86	1.32
		3	4.45	0.00	0.00	2.50		1.10	4.89	7.39	0.86	1.32
	Agst	1	5.06	0.00	0.00	2.50	1.70	1.10	5.57	9.77	1.13	1.74
		2	5.06	8.33	0.58	2.50	1.70	1.10	5.57	9.18	1.06	1.64
		3	5.06	19.67	1.38	2.50	1.70	1.10	5.57	8.39	0.97	1.49
	Sept	1	5.95	120.33	8.42	2.50	1.70	1.05	6.25	2.02	0.23	0.36
		2	5.95	96.00	6.72	2.50	1.70	1.00	5.95	3.43	0.40	0.61
		3	5.95	129.67	9.08	2.50	1.70	0.95	5.65	0.77	0.09	0.14
	Okt	1	5.87	63.33	4.43	2.50		0.00	0.00	-1.93	-0.22	0.00
		2	5.87	128.67	9.01	2.50		0.00	0.00	-6.51	-0.75	0.00
		3	5.87	104.00	7.28	2.50		0.00	0.00	-4.78	-0.55	0.00

Berikut penjelasan dari Tabel 5.11 Perhitungan kebutuhan Air Tanaman Padi untuk awal tanam Nopember 1:

- Kolom 1 : Musim Tanam
- Kolom 2,3 : Bulan dan dekade(periode)
- Kolom 4 : Curah hujan Effektif
- Kolom 5 : Evaporasi Potensial (Tabel 5.1)
- Kolom 6 : Hujan Effektif untuk tanaman padi
- Kolom 7 : Perkolasi
Ditetapkan 2.5 mm/hari
- Kolom 8 : Water Layer Requirement
 $WLR = 50 \text{ mm} / 30 \text{ hari} = 1.70 \text{ mm/hari.}$
- Kolom 9 : Koefisien Tanaman
- Kolom 10 : Etc
 $Etc = kc \times Eto$
- Kolom 11 : NFR(Keb. air bersih untuk Irigasi)
 $NFR_{padi} = Etc + p - Re + WLR$
- Kolom 12 : DR (Keb.air bersih di Intake)
 $DR = NFR / 8.64$

Tabel 5. 12 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Tebu untuk seluruh masa tanam

Musim	Bulan	Dekade	Eto	R 80	TEBU					
					Re Tebu	k Ć	Etc	NFR		DR
			mm/hari	mm/hari	mm/hari		mm/hari	mm/hari	l/d/ha	l/d/ha
Hujan	Nop	1	5.42	144.33	6.02	0.55	2.98	-3.03	-0.35	0.00
		2	5.42	50.33	4.80	0.55	2.98	-1.82	-0.21	0.00
		3	5.42	125.67	6.48	0.55	2.98	-3.50	-0.41	0.00
	Des	1	4.51	65.33	3.17	0.80	3.61	0.44	0.05	0.08
		2	4.51	65.33	6.43	0.80	3.61	-2.82	-0.33	0.00
		3	4.51	62.00	5.20	0.80	3.61	-1.59	-0.18	0.00
	Jan	1	5.00	84.67	7.22	0.90	4.50	-2.72	-0.31	0.00
		2	5.00	95.67	2.52	0.95	4.75	2.23	0.26	0.40
		3	5.00	139.00	6.28	1.00	5.00	-1.29	-0.15	0.00
	Feb	1	4.83	100.67	3.27	1.00	4.83	1.56	0.18	0.28
		2	4.83	44.67	3.27	1.00	4.83	1.56	0.18	0.28
		3	4.83	68.00	3.10	1.00	4.83	1.73	0.20	0.31
Kemarau 1	Mar	1	4.94	192.33	4.23	1.05	5.19	0.96	0.11	0.17
		2	4.94	80.67	4.78	1.05	5.19	0.41	0.05	0.07
		3	4.94	19.67	6.95	1.05	5.19	-1.76	-0.20	0.00
	Apr	1	4.70	15.00	5.03	1.05	4.94	-0.09	-0.01	0.00
		2	4.70	15.33	2.23	1.05	4.94	2.71	0.31	0.48
		3	4.70	2.67	3.40	1.05	4.94	1.54	0.18	0.27
	Mei	1	4.40	0.00	9.62	1.05	4.62	-5.00	-0.58	0.00
		2	4.40	0.67	4.03	1.05	4.62	0.59	0.07	0.10
		3	4.40	0.00	0.98	1.05	4.62	3.64	0.42	0.65
	Juni	1	4.13	0.00	0.75	0.85	3.51	2.76	0.32	0.49
		2	4.13	2.67	0.77	0.85	3.51	2.74	0.32	0.49
		3	4.13	0.00	0.13	0.85	3.51	3.38	0.39	0.60
Kemarau 2	Juli	1	4.45	0.00	0.00	0.80	3.56	3.56	0.41	0.63
		2	4.45	0.00	0.03	0.80	3.56	3.52	0.41	0.63
		3	4.45	0.00	0.00	0.80	3.56	3.56	0.41	0.63
	Agst	1	5.06	0.00	0.00	0.80	4.05	4.05	0.47	0.72
		2	5.06	8.33	0.13	0.80	4.05	3.92	0.45	0.70
		3	5.06	19.67	0.00	0.60	3.04	3.04	0.35	0.54
	Sept	1	5.95	120.33	0.00	0.60	3.57	3.57	0.41	0.64
		2	5.95	96.00	0.00	0.60	3.57	3.57	0.41	0.64
		3	5.95	129.67	0.00	0.60	3.57	3.57	0.41	0.64
	Okt	1	5.87	63.33	0.00	0.60	3.52	3.52	0.41	0.63
		2	5.87	128.67	0.42	0.60	3.52	3.10	0.36	0.55
		3	5.87	104.00	0.98	0.60	3.52	2.54	0.29	0.45

Berikut penjelasan dari Tabel 5.11 Perhitungan kebutuhan Air Tanaman Tebu untuk awal tanam Nopember 1:

- Kolom 1 : Musim Tanam
- Kolom 2,3 : Bulan dan dekade(periode)
- Kolom 4 : Curah hujan Effektif
- Kolom 5 : Evaporasi Potensial (Tabel 5.1)
- Kolom 6 : Hujan Effektif untuk tanaman tebu
- Kolom 7 : Perkolasi
Ditetapkan 2.5 mm/hari
- Kolom 8 : Water Layer Requirement
 $WLR = 50 \text{ mm} / 30 \text{ hari} = 1.70 \text{ mm/hari.}$
- Kolom 9 : Koefisien Tanaman
- Kolom 10 : Etc
 $Etc = kc \times Eto$
- Kolom 11 : NFR(Keb. air bersih untuk Irigasi)
 $NFR_{tebu} = Etc - Re_{tebu}$
- Kolom 12 : DR (Keb.air bersih di Intake)
 $DR = NFR / 8.64$

Tabel 5. 13 Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Palawija pada awal Juli

Musim	Bulan	Dekade	Eto	PALAWIJA					
				Re-pol	kĈ	Etc	NFR		DR
			mm/hari	mm/hari		mm/hari	mm/hari	l/dt/ha	l/dt/ha
Hujan	Nop	1	5.42	8.66					
		2	5.42	3.02					
		3	5.42	7.54					
	Des	1	4.51	3.92					
		2	4.51	3.92					
		3	4.51	3.72					
	Jan	1	5.00	5.08					
		2	5.00	5.74					
		3	5.00	8.34					
	Feb	1	4.83	6.04					
		2	4.83	2.68					
		3	4.83	4.08					
Kemarau 1	Mar	1	4.94	11.54					
		2	4.94	4.84					
		3	4.94	1.18					
	Apr	1	4.70	0.90					
		2	4.70	0.92					
		3	4.70	0.16					
	Mei	1	4.40	0.00					
		2	4.40	0.04					
		3	4.40	0.00					
	Juni	1	4.13	0.00					
		2	4.13	0.16					
		3	4.13	0.00					
Kemarau 2	Juli	1	4.45	0.00	0.50	2.22	2.22	0.26	0.40
		2	4.45	0.00	0.50	2.22	2.22	0.26	0.40
		3	4.45	0.00	0.59	2.62	2.62	0.30	0.47
	Agst	1	5.06	0.00	0.59	2.99	2.99	0.35	0.53
		2	5.06	0.50	0.96	4.86	4.36	0.50	0.78
		3	5.06	1.18	1.05	5.31	4.13	0.48	0.74
	Sept	1	5.95	7.22	1.05	6.25	-0.97	-0.11	0.00
		2	5.95	5.76	1.02	6.07	0.31	0.04	0.05
		3	5.95	7.78	0.95	5.65	-2.13	-0.25	0.00
	Okt	1	5.87	3.80					
		2	5.87	7.72					
		3	5.87	6.24					

Berikut penjelasan dari Tabel 5.11 Perhitungan kebutuhan Air Tanaman Polowijo untuk awal tanam Juli 1:

- Kolom 1 : Musim Tanam
- Kolom 2,3 : Bulan dan dekade(periode)
- Kolom 4 : Curah hujan Effektif
- Kolom 5 : Evaporasi Potensial (Tabel 5.1)
- Kolom 6 : Hujan Effektif untuk tanaman polowijo
- Kolom 7 : Perkolasi
Ditetapkan 2.5 mm/hari
- Kolom 8 : Water Layer Requirement
 $WLR = 50 \text{ mm} / 30 \text{ hari} = 1.70 \text{ mm/hari}$.
- Kolom 9 : Koefisien Tanaman
- Kolom 10 : Etc
 $Etc = kc \times Eto$
- Kolom 11 : NFR(Keb. air bersih untuk Irigasi)
 $NFR_{pol} = Etc - Re_{pol}$
- Kolom 12 : DR (Keb.air bersih di Intake)
 $DR = NFR / 8.64$

Setelah melakukan perhitungan kebutuhan air tanaman untuk awal tanam jul I, maka dilakukan perhitungan untuk awal tanam juli II, juli III dan seterusnya, sehingga menghasilkan kebutuhan air tanaman untuk padi, tebu dan palawjia. Berikut ini merukapan tabel rekap kebutuhan air tiap bulan dalam satu tahun.

Tabel 5. 14 Rekap DR Padi, Palawija dan Tebu

KEBUTUHAN AIR UNTUK TANAMAN PADI, POLOWIJO, TEBU (lt/dt/ha)												
	Nop	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt
X1	0.54	0.73	0.38	0.15								
X2		0.81	0.30	0.75	0.13							
X3			0.43	0.70	0.60	0.65						
X4				1.00	0.65	1.34	0.83					
X5					0.81	1.43	1.56	0.77				
X6						1.01	1.35	1.51	0.91			
X7							1.16	1.39	1.57	0.72		
X8								1.28	1.51	1.59	0.29	
X9									1.43	1.52	0.42	0.23
X10	0.12									1.13	0.30	0.60
X11	0.43	0.21									0.25	0.47
X12	0.41	0.78	0.17									0.40
P1									0.43	0.39	0.09	
P2										0.22	0.08	0.09
P3	0.11										0.00	0.05
T1	0.00	0.03	0.13	0.29	0.08	0.25	0.25	0.53	0.63	0.65	0.64	0.54

5.2 Optimasi Irigasi

Dalam studi ini, penggunaan model optimasi merupakan salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan dalam pengelolaan dan pemanfaatan air. Disamping itu juga ditujukan pada pengembangan daerah studi, agar daerah tersebut bisa menghasilkan keuntungan hasil produksi yang maksimum.

Untuk memperoleh hasil yang optimal tersebut, dapat diselesaikan dengan pendekatan optimasi. Optimasi merupakan suatu cara untuk membuat nilai suatu fungsi agar beberapa variabel yang ada menjadi maksimum atau minimum dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada.

Dalam studi ini untuk memperoleh penyelesaian yang optimal dilakukan dengan model optimasi. Persamaan yang dilakukan ialah persamaan linier, sehingga disebut dengan *Linier Programming*. Adapun langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan Model Optimasi
2. Menentukan peubah-ubah yang akan dioptimalkan (dalam studi ini yang akan dioptimalkan ialah penggunaan air wdukd wonorejo)
3. Menghitung harga batasan yang ada dalam persamaan model optimasi.
4. Penyusunan model matematis.

Merencanakan pola tata tanam pada suatu irigasi merupakan kegiatan rutin yang harus dilakukan setiap tahun, sedangkan pengaturan rencana ini harus dihitung dengan memanfaatkan secara optimal dari sumber air yang tersedia. Berdasarkan kompleksnya dan banyaknya parameter yang harus dihitung maka sangatlah membantu jika perhitungan pola tanam menggunakan program optimasi linier.

- a. Fungsi Sasaran/Tujuan, merupakan suatu rumusan dari tujuan pokok, yaitu hubungan anatara peubah-peubah yang akan dioptimalkan.

Dalam optimasi ini, yaitu :

Memaksimalkan : Intensitas tanam atau luas tanam dalam satu tahun.

- b. Fungsi Kendala merupakan suatu rumusan dirumuskan sebagai berikut :
 Jumlah kebutuhan air untuk tanaman pada setiap saatnya (tiap bulan) tidak boleh melebihi dari air yang tersedia.
 Jumlah luas tanam pada setiap kali musim tanam tidak boleh melebihi dari jumlah luas tanaman.

Analisa Hasil Usaha Tani

Hasil usaha tani merupakan hasil pendapatan bersih petani yang didapat dari penerimaan petani dikurangi biaya produksi yang dikeluarkan petani tiap hektarnya. Penerimaan petani yaitu banyaknya hasil produksi tanaman tiap hektar dikalikan dengan harga produksi tanaman tersebut.

Hasil perhitungan ini berupa pendapatan bersih untuk masing-masing tanaman yang akan dipakai sebagai fungsi sasaran pada perhitungan keuntungan yang akan dicapai. Perhitungan hasil analisa usaha tani dapat dilihat pada tabel berikut ini :

No.	Uraian	Padi	Palawija	Tebu
1	Harga Produk (Rp/Ton)	2.000.000	1.200.000	250.000
2	Rata-rata Produksi sawah (ton/Ha)	7	3	20
3	Hasil Produksi (Rp/Ha)	14.000.000	3.600.000	5.000.000
4	Biaya Produksi (Rp/Ha)	8.950.000	2.100.000	2.350.000
5	Pendapatan (Rp/Ha)	5.050.000	1.500.000	2.650.000

Sumber : Dinas Tanaman Pangan & Holtikultura Kab. Tulungagung.

5.2.1 Perumusan Optimasi Linier

Tabel 5. 15 Optimasi Linier untuk luas tanam DI Paingan

Luas Tanam (Ha)		Luas Tanaman Total (Tup Tanaman (Ha)		Kebutuhan Air Untuk Tanaman Padi dan Palawija (L/der (Ha)											
		Nop	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt		
X1		0.54	0.73	0.38	0.15										
X2			0.81	0.30	0.75	0.13									
X3				0.43	0.70	0.60	0.65								
X4					1.00	0.65	1.34	0.83							
X5						0.81	1.43	1.56	0.77						
X6							1.01	1.35	1.51	0.91					
X7								1.16	1.39	1.57	0.72				
X8									1.28	1.51	1.39	0.29			
X9										1.43	1.52	0.42	0.23		
X10		0.12									1.13	0.30	0.60		
X11		0.43	0.21									0.25	0.47		
X12		0.41	0.78	0.17									0.40		
P1										0.43	0.39	0.09			
P2											0.22	0.08	0.09		
P3		0.11										0.00	0.05		
T1		0.00	0.03	0.13	0.29	0.08	0.25	0.25	0.53	0.63	0.65	0.64	0.54		

5.4.1.1 Fungsi Tujuan Atau Maksimum :

$$\text{Max} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + P_1 + P_2 + P_3 + T_1$$

Keterangan :

$X_{1,2,3..}$ = Untuk Padi

$P_{1,2,3..}$ = Untuk Palawija

$T_{1,2,3..}$ = Untuk Tebu

5.4.1.2 Fungsi Kendala Atau Konstrain :

- Luas Tanam Padi/Palawija ≥ 0
- Luas Tanam Tebu ≥ 43
- Luas Total tanaman \leq Luas Eksisting
- Debit hasil optimasi \leq Debit yang tersedia.

Input semua data yang diperlukan, lalu memulai program linier dengan bantuan *Microsoft Excel Add-in Solver*.

Dari hasil perhitungan *Microsoft Excel – solver* tersebut diperoleh solusi optimum sebagai berikut :

5.4.3.1 Luas yang dihasilkan

Tabel 5. 17 Luas hasil optimasi

Luas Tanam (Ha)	
X1	508
X2	0
X3	0
X4	0
X5	508
X6	0
X7	0
X8	0
X9	508
X10	0
X11	0
X12	0
P1	0
P2	0
P3	0
T1	43

Keterangan :

$X_{1,2,3..}$ = Untuk Padi

$P_{1,2,3..}$ = Untuk Palawija

T_1 = Untuk Tebu

5.4.3.2 Intensitas Tanaman

Dari hasil Optimasi diatas, bisa diketahui intensitas tanamnya sebesar :

Tabel 5. 18 Intensitas Tanaman

Musim	Tanaman			Total	Intensitas (%)
	Padi	Palawija	Tebu		
MH	508	0	43	551	100
MKI	508	0	43	551	100
MK II	508	0	43	551	100
Total				1653	300

Sehingga dapat dihasilkan intensitas tanam sebesar 300 %.

5.4.3.3 Debit

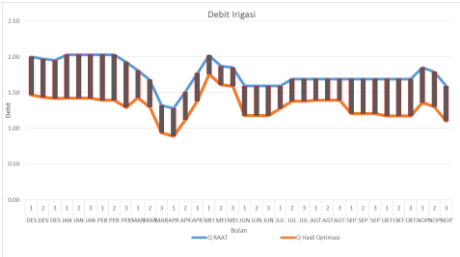
Dari hasil optimasi dengan menggunakan *Microsoft Excel – solver* tersebut dapat dilihat bahwa debit yang tersedia mencukupi debit kebutuhan di Daerah Irigasi Paingan dengan luas total 551 Ha.

Berikut ini merupakan rekapitulasi debit.

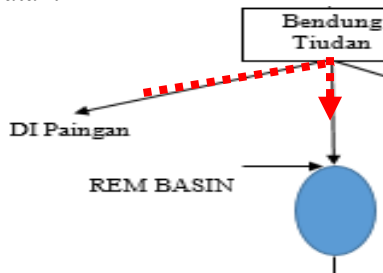
Tabel 5. 19 Sisa debit dari optimasi

BLN/DKD		RAAT	Optimasi untuk DI	Sisa Optimasi
1		2	3	4
DES	1	2.000	1.47	0.534
	2	1.970	1.44	0.534
	3	1.950	1.42	0.534
JAN	1	2.030	1.42	0.610
	2	2.030	1.42	0.610
	3	2.030	1.42	0.610
PEB	1	2.030	1.39	0.636
	2	2.030	1.39	0.636
	3	1.930	1.29	0.636
MAR	1	1.810	1.43	0.382
	2	1.680	1.30	0.382
	3	1.320	0.94	0.382
APR	1	1.280	0.89	0.392
	2	1.510	1.12	0.392
	3	1.770	1.38	0.392
MEI	1	2.020	1.76	0.262
	2	1.870	1.61	0.262
	3	1.850	1.59	0.262
JUN	1	1.590	1.18	0.414
	2	1.590	1.18	0.414
	3	1.590	1.18	0.414
JUL	1	1.590	1.28	0.312
	2	1.690	1.38	0.312
	3	1.690	1.38	0.312
AGT	1	1.690	1.39	0.296
	2	1.690	1.39	0.296
	3	1.690	1.39	0.296
SEP	1	1.690	1.21	0.484
	2	1.690	1.21	0.484
	3	1.690	1.21	0.484
OKT	1	1.690	1.17	0.516
	2	1.690	1.17	0.516
	3	1.690	1.17	0.516
NOP	1	1.850	1.36	0.489
	2	1.790	1.30	0.489
	3	1.590	1.10	0.489

Grafik 5. 1 Waterbalance Rencana pola Tata tanam hasil optimasi irigasi jika dengan debit Rencana Alokasi Air Tahunan 2016-2017



Dari grafik 5.1 debit antara debit RAAT untuk irigasi dengan debit hasil optimasi menunjukkan bahwa debit RAAT untuk Irigasi berlebihan untuk memenuhi kebutuhan di Daerah Irigasi Paingan. Sisa hasil optimasi irigasi DI Paingan digunakan untuk menambah debit untuk PLTA Tulungagung Selatan. Penambahan ini diharapkan mampu menambahkan daya yang dihasilkan oleh PLTA Tulungagung Selatan. Sehingga menambah keuntungan yang dihasilkan dan berikut ini rekapitulasi debit untuk PLTA Tulungagung Selatan.



Gambar 5. 1 Skema debit sisa hasil optimasi irigasi untuk debit tambahan PLTA Tulungagung Selatan

5.4.3.4 Hasil Keuntungan Produksi

Dari nilai luasan masing-masing tanaman tersebut dimasukkan ke persamaan tujuan sebesar :

$$Z = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + P_1 + P_2 + P_3 + T_1$$

menjadi

$$Z = 5.050.000 X_1 + 5.050.000 X_2 + 5.050.000 X_3 + 5.050.000 X_4 + 5.050.000 X_5 + 5.050.000 X_6 + 5.050.000 X_7 + 5.050.000 X_8 + 5.050.000 X_9 + 5.050.000 X_{10} + 5.050.000 X_{11} + 5.050.000 X_{12} + 5.050.000 X_{13} + 1.500.000 P_1 + 1.500.000 P_2 + 1.500.000 P_3 + 2.650.000 T_1$$

$$Z = 5.050.000 X_1 + 5.050.000 X_5 + 5.050.000 X_9 + 2.650.000 T_1$$

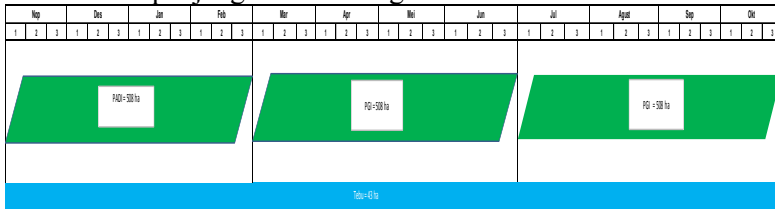
$$Z = 5.050.000 \cdot 508 + 5.050.000 \cdot 508 + 5.050.000 \cdot 508 + 2.650.000 \cdot 43$$

$$Z = 7.810.150.000$$

Sehingga dapat dihasilkan keuntungan produksi tanam sebesar =

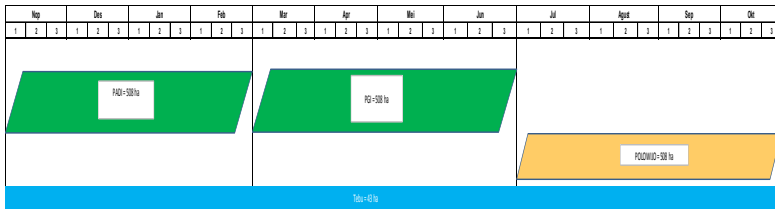
$$\text{Rp. } 7.810.150.000$$

Dari hasil optimasi diatas menghasilkan pola tanam Padi-Padi-Padi dan Tebu Sepanjang tahun. Sebagai berikut ini :



Gambar 5. 2 BarChart Rencana Pola Tata tanam hasil optimasi irigasi dengan Rencana Alokasi Air Tahunan.

Namun, pola tata tanam eksisting selama ini Padi-Padi-Polowojo dan Tebu sepanjang tahun. Hal ini mempertimbangkan agar tanah atau lahan mengalami waktu jeda. Oleh karena itu, meskipun hasil optimasi bisa ditanami padi sepanjang tahun, maka disarankan pola tata tanam tetap seperti eksisting Padi-Padi-Polowijo dan Tebu sepanjang tahun. Seperti gambar berikut :



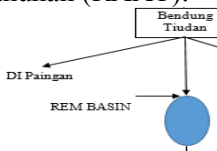
Gambar 5. 3 BarChart Rencana Pola Tata Tanam secara Eksisting

Tabel 5. 20 Debit Tambahan dari DI Paingan untuk PLTA Tulung Agung Selatan

		Inflow		
BLN/DKD		Sisa DI Paingan	Dr Wdk Wonorejo	Total (m3/dtk)
1		2	3	4
DES	1	0.534	8.30	8.834
	2	0.534	8.33	8.864
	3	0.534	8.35	8.884
JAN	1	0.610	8.27	8.880
	2	0.610	4.70	5.310
	3	0.610	8.27	8.880
PEB	1	0.636	8.27	8.906
	2	0.636	8.27	8.906
	3	0.636	8.37	9.006
MAR	1	0.382	8.49	8.872
	2	0.382	8.62	9.002
	3	0.382	6.05	6.432
APR	1	0.392	9.02	9.412
	2	0.392	8.79	9.182
	3	0.392	4.47	4.862
MEI	1	0.262	3.51	3.772
	2	0.262	2.42	2.682
	3	0.262	1.29	1.552
JUN	1	0.414	0.30	0.714
	2	0.414	0.09	0.504
	3	0.414	0.07	0.484
JUL	1	0.312	0.14	0.452
	2	0.312	0.03	0.342
	3	0.312	0.03	0.342
AGT	1	0.296	0.88	1.176
	2	0.296	1.07	1.366
	3	0.296	0.90	1.196
SEP	1	0.484	0.77	1.254
	2	0.484	0.71	1.194
	3	0.484	0.29	0.774
OKT	1	0.516	0.53	1.046
	2	0.516	0.66	1.176
	3	0.516	0.52	1.036
NOP	1	0.489	1.68	2.169
	2	0.489	0.80	1.289
	3	0.489	5.10	5.589

5.3 Kebutuhan Air untuk PLTA Tulungagung Selatan

Pola Rencana Alokasi Air Tahunan pada PLTA Tulungagung Selatan, dapat dilihat pada tabel 2.7. Dan berikut ini merupakan tabel perhitungan Daya dan Energi dengan menggunakan debit Rencana Alokasi Air Tahunan (RAAT).



Gambar 5. 4 Skema debit RAAT untuk PLTA Tulungagung Selatan

5.3.1 Perhitungan Daya dan Energi dengan debit RAAT pada PLTA Tulungagung Selatan

Tabel 5. 21 Perhitungan PLTA Tulungagung Selatan dengan Debit RAAT

PERHITUNGAN PLTA TULUNGAGUNG SELATAN (RAAT)									
BL N/ DK D		J H	Q (m3/s)	H (m)	Eff Tur	g (m ² /s)	P (KW)	P (MW)	E (MWh)
	1	2	3	4	5	6	7	8	10
D E S	1	10	30.57	65	0.8	9.8	15578	15.58	3739
	2	10	49.77	65	0.8	9.8	25363	25.36	6087
	3	11	54.15	65	0.8	9.8	27595	27.59	7285
J A N	1	10	55.00	65	0.8	9.8	28028	28.03	6727
	2	10	48.19	65	0.8	9.8	24558	24.56	5894
	3	11	62.00	65	0.8	9.8	31595	31.60	8341
P E B	1	10	62.00	65	0.8	9.8	31595	31.60	7583
	2	10	62.00	65	0.8	9.8	31595	31.60	7583
	3	9	62.00	65	0.8	9.8	31595	31.60	6825
M A R	1	10	62.00	65	0.8	9.8	31595	31.60	7583
	2	10	62.00	65	0.8	9.8	31595	31.60	7583
	3	11	58.91	65	0.8	9.8	30021	30.02	7925
A P R	1	10	62.00	65	0.8	9.8	31595	31.60	7583
	2	10	62.00	65	0.8	9.8	31595	31.60	7583
	3	10	42.92	65	0.8	9.8	21872	21.87	5249

Tabel 5. 21 Perhitungan PLTA Tulungagung Selatan dengan Debit RAAT (lanjutan)

PERHITUNGAN PLTA TULUNGAGUNG SELATAN (RAAT)									
BLN/ DKD		J H	Q (m3/s)	H (m)	Eff Tur	g (m2/s)	Daya (KW)	Daya (MW)	Energi (MWh)
M E I	1	10	34.43	65	0.8	9.8	17546	17.55	4211
	2	10	36.10	65	0.8	9.8	18397	18.40	4415
	3	11	24.40	65	0.8	9.8	12434	12.43	3283
J U N	1	10	8.81	65	0.8	9.8	4490	4.49	1077
	2	10	8.18	65	0.8	9.8	4169	4.17	1000
	3	10	6.92	65	0.8	9.8	3526	3.53	846
J U L	1	10	5.89	65	0.8	9.8	3002	3.00	720
	2	10	5.41	65	0.8	9.8	2757	2.76	662
	3	11	4.87	65	0.8	9.8	2482	2.48	655
A G T	1	10	5.10	65	0.8	9.8	2599	2.60	624
	2	10	5.66	65	0.8	9.8	2884	2.88	692
	3	11	4.92	65	0.8	9.8	2507	2.51	662
S E P	1	10	4.24	65	0.8	9.8	2161	2.16	519
	2	10	3.75	65	0.8	9.8	1911	1.91	459
	3	10	2.34	65	0.8	9.8	1192	1.19	286
O K T	1	10	2.37	65	0.8	9.8	1208	1.21	290
	2	10	2.87	65	0.8	9.8	1463	1.46	351
	3	11	2.89	65	0.8	9.8	1473	1.47	389
N O P	1	10	5.08	65	0.8	9.8	2589	2.59	621
	2	10	8.89	65	0.8	9.8	4530	4.53	1087
	3	10	21.95	65	0.8	9.8	11186	11.19	2685
Rata-rata									3586

Contoh perhitungan :

- Desember periode 1

Hitungan Daya:

$$P = \text{Eff. Turbin} \times 9.8 \times Q \times H \quad (\text{Kilo watt})$$

$$P = 0.8 \times 9.8 \times 30.57 \text{ m}^3/\text{s} \times 65 \text{ m}$$

$$P = 15.587 \text{ Kw}$$

$$P = 15.58 \text{ MW}$$

Hitungan Energi :

$$E = P \times t$$

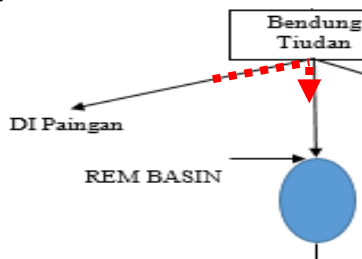
$$E = 15.58 \text{ MW} \times (24 \times 10)$$

$$E = 3739 \text{ MWh}$$

Sehingga dengan debit RAAT menghasilkan daya dan energi terbesar mencapai 31.60 MW dan 7583 MWh, Sedangkan daya dan energi terendah terendah sebesar 1.19 MW dan 459 MWh. Dengan Energi rata-rata pertahun sebanyak 3.586 MWh.

5.3.2 Perhitungan Daya dan Energi Rencana I untuk PLTA Tulungagung Selatan.

Rencana I untuk PLTA Tulungagung Selatan merupakan perencanaan yang dibuat dengan debit yang berasal dari sisa debit irigasi paingan dan dari debit bendung tiudan ditambahkan dengan debit REM Basin.



Gambar 5. 5 Skema debit rencana I

Contoh perhitungan :

- Desember periode 1

Hitungan Daya:

$$P = \text{Eff. Turbin} \times 9.8 \times Q \times H \quad (\text{Kilo watt})$$

$$P = 0.8 \times 9.8 \times 301.10 \text{ m}^3/\text{s} \times 65 \text{ m}$$

$$P = 15.85 \text{ Kw}$$

$$P = 15,85 \text{ MW}$$

Hitungan Energi :

$$E = P \times t$$

$$E = 15.58 \text{ MW} \times (24 \times 10)$$

$$E = 3804,12 \text{ MWh}$$

Sehingga dengan debit rencana I menghasilkan daya dan energi terbesar mencapai 43.35 MW dan 9361.50 MWh, Sedangkan daya dan energi terendah terendah sebesar 1.44 MW dan 345.35 MWh. Dengan Energi rata-rata pertahun sebanyak 3.923 MWh.

5.3.3 Perhitungan Daya dan Energi Rencana II Untuk PLTA Tulungagung Selatan.

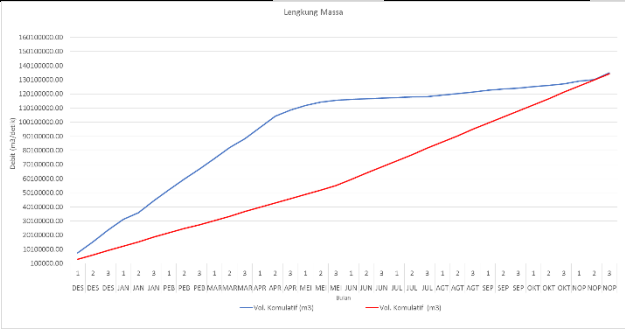
Rencana II untuk PLTA Tulungagung Selatan merupakan perencanaan yang dibuat dengan debit yang berasal dari bendung tiudan dikumulatifkan dengan rencana debit yang konstan tiap enam bulan. Berikut merupakan perhitungannya :

Tabel 5. 23 Perhitungan Debit Rencana II PLTA Tulungagung Selatan

	Period e	JH	DEBIT (m ³ /dt)	VOLUME (m ³)	Vol. Kumulatif (m ³)	DEBIT KONSTAN (m ³ /dt)	VOLUME (m ³)	Vol. Kumulatif (m ³)
	1	2	3	4	5	6	7	8
DES	1	10	8.83	7632391.50	7632391.50	3.5	3024000.00	3024000.00
	2	10	8.86	7658311.50	15290702.99	3.5	3024000.00	6048000.00
	3	11	8.88	8443150.65	23733853.64	3.5	3326400.00	9374400.00
JAN	1	10	8.88	7672366.94	31406220.58	3.5	3024000.00	12398400.00
	2	10	5.31	4587886.94	35994107.53	3.5	3024000.00	15422400.00
	3	11	8.88	8439603.64	44433711.16	3.5	3326400.00	18748800.00
PEB	1	10	8.91	7694607.93	52128319.10	3.5	3024000.00	21772800.00
	2	10	8.91	7694607.93	59822927.03	3.5	3024000.00	24796800.00
	3	9	9.01	7002907.14	66825834.16	3.5	2721600.00	27518400.00
MAR	1	10	8.87	7665481.72	74491315.88	3.5	3024000.00	30542400.00
	2	10	9.00	7777801.72	82269117.60	3.5	3024000.00	33566400.00
	3	11	6.43	6113053.89	88382171.50	3.5	3326400.00	36892800.00
APR	1	10	9.41	8131804.25	96513975.75	3.5	3024000.00	39916800.00
	2	10	9.18	7933084.25	104447060.01	3.5	3024000.00	42940800.00
	3	10	4.86	4200604.25	108647664.26	3.5	3024000.00	45964800.00
MEI	1	10	3.77	3258768.74	111906432.99	3.5	3024000.00	48988800.00
	2	10	2.68	2317008.74	114223441.73	3.5	3024000.00	52012800.00
	3	11	1.55	1474757.61	115698199.34	3.5	3326400.00	55339200.00
JUN	1	10	0.71	616856.76	116315056.10	5.3	4605120.00	59944320.00
	2	10	0.50	435416.76	116750472.85	5.3	4605120.00	64549440.00
	3	10	0.48	418136.76	117168609.61	5.3	4605120.00	69154560.00

Tabel 5. 243 Perhitungan Debit Rencana I PLTA Tulungagung Selatan
(lanjutan)

	Period e	JH	DEBIT	VOLUME	Vol. Kumulatif (m3)	EBIT KONSTA	VOLUME	Vol. Kumulatif
			(m3/dt)	(m3)		(m3/dt)	(m3)	(m3)
	1	2	3	4	5	6	7	8
JUL	1	10	0.45	390779.79	117559389.40	5.3	4605120.00	73759680.00
	2	10	0.34	295739.79	117855129.19	5.3	4605120.00	78364800.00
	3	11	0.34	325313.77	118180442.96	5.3	5065632.00	83430432.00
AGT	1	10	1.18	1016296.35	119196739.31	5.3	4605120.00	88035552.00
	2	10	1.37	1180456.35	120377195.66	5.3	4605120.00	92640672.00
	3	11	1.20	1136933.98	121514129.64	5.3	5065632.00	97706304.00
SEP	1	10	1.25	1083184.95	122597314.59	5.3	4605120.00	102311424.00
	2	10	1.19	1031344.95	123628659.54	5.3	4605120.00	106916544.00
	3	10	0.77	668464.95	124297124.49	5.3	4605120.00	111521664.00
OKT	1	10	1.05	903920.15	125201044.64	5.3	4605120.00	116126784.00
	2	10	1.18	1016240.15	126217284.79	5.3	4605120.00	120731904.00
	3	11	1.04	984808.16	127202092.95	5.3	5065632.00	125797536.00
NOP	1	10	2.17	1874284.44	129076377.39	5.3	4605120.00	130402656.00
	2	10	1.29	1113964.44	130190341.83	5.3	4605120.00	135007776.00
	3	10	5.59	4829164.44	135019506.27	5.3	4605120.00	139612896.00
Jumlah		173	157.3	135019510.3		164.9	139612903.0	
Rata-rata			4.3	3649176.0		4.5	3773321.7	



Grafik 5. 2 Debit Inflow dengan Debit Rencana

Sehingga menghasilkan debit konstan di enam bulan pertama 3.5 m³/s dan enam bulan kemudian dengan debit 5.3 m³/s.

Jadi debit REM Basin ditambah dengan debit konstan akan dijadikan rencana debit untuk memutar turbin PLTA Tulungagung Selatan.

Tabel 5. 25 Debit rencana untuk PLTA Tulungagung Selatan

Bln/ Dkd		JH	PLTA Tul. Selatan		
			Outflow (m ³ /dt)	REM (m ³ /dt)	Total (m ³ /dt)
			Turbin		
1		2	3	4	5
DES	1	10	3.50	22.27	25.77
	2	10	3.50	41.44	44.94
	3	11	3.50	45.80	49.30
JAN	1	10	3.50	46.73	50.23
	2	10	3.50	43.49	46.99
	3	11	3.50	56.19	59.69
PEB	1	10	3.50	66.41	69.91
	2	10	3.50	71.06	74.56
	3	9	3.50	76.06	79.56
MAR	1	10	3.50	64.69	68.19
	2	10	3.50	61.43	64.93
	3	11	3.50	52.86	56.36
APR	1	10	3.50	57.03	60.53
	2	10	3.50	60.19	63.69
	3	10	3.50	38.46	41.96
MEI	1	10	3.50	30.92	34.42
	2	10	3.50	33.69	37.19
	3	11	3.50	23.10	26.60
JUN	1	10	5.33	8.52	13.85
	2	10	5.33	8.09	13.42
	3	10	5.33	6.85	12.18
JUL	1	10	5.33	5.75	11.08
	2	10	5.33	5.37	10.70
	3	11	5.33	4.84	10.17
	1	10	5.33	4.22	9.55

Tabel 5. 26 Debit rencana untuk PLTA Tulungagung Selatan (lanjutan)

Bln/ Dkd	JH	PLTA Tul. Selatan			
		Outflow (m ³ /dt)	REM (m ³ /dt)	Total (m ³ /dt)	
		Turbin			
1	2	3	4	5	
AGT	1	10	5.33	4.22	9.55
	2	10	5.33	4.60	9.93
	3	11	5.33	4.02	9.35
SEP	1	10	5.33	3.46	8.79
	2	10	5.33	3.04	8.37
	3	10	5.33	2.05	7.38
OKT	1	10	5.33	1.84	7.17
	2	10	5.33	2.20	7.53
	3	11	5.33	2.37	7.70
NOP	1	10	5.33	3.40	8.73
	2	10	5.33	8.09	13.42
	3	10	5.33	16.85	22.18

Setelah mendapatkan debit rencana II maka dilakukan perhitungan Rencana II untuk PLTA Tulungagung Selatan.

Tabel 5. 27 Perhitungan PLTA Tulungagung Selatan dengan debit rencana

PERHITUNGAN PLTA TULUNGAGUNG SELATAN									
BLN/DKD	JH	Q (m ³ /dt)	H (m)	Efisiensi Turbin	g (m ² /s)	Daya (KWatt)	Daya (MWatt)	Energi (KWh)	
1	2	3	4	5	6	7	8	10	
DES	1	10	25.770	65	0.8	9.8	13132	13.13	3152
	2	10	44.940	65	0.8	9.8	22901	22.90	5496
	3	11	49.300	65	0.8	9.8	25123	25.12	6633
JAN	1	10	50.230	65	0.8	9.8	25597	25.60	6143
	2	10	46.990	65	0.8	9.8	23946	23.95	5747
	3	11	59.690	65	0.8	9.8	30418	30.42	8030
PEB	1	10	69.910	65	0.8	9.8	35626	35.63	8550
	2	10	74.560	65	0.8	9.8	37996	38.00	9119
	3	9	79.560	65	0.8	9.8	40544	40.54	8757

Contoh Perhitungan :

- Desember periode 1

Hitungan Daya:

$$P = \text{Eff. Turbin} \times 9.8 \times Q \times H \quad (\text{Kilo watt})$$

$$P = 0.8 \times 9.8 \times 25.77 \text{ m}^3/\text{s} \times 65 \text{ m}$$

$$P = 13.132 \text{ Kw}$$

$$P = 13,13 \text{ MW}$$

Hitungan Energi :

$$E = P \times t$$

$$E = 13,13 \text{ MW} \times (24 \times 10)$$

$$E = 3152 \text{ MWh}$$

Sehingga dengan debit rencana II menghasilkan daya dan energi terbesar mencapai 40.54 MW dan 9119 MWh, Sedangkan daya dan energi terendah terendah sebesar 3.65 MW dan 877 MWh.

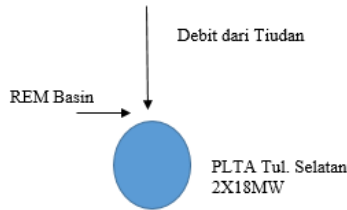
Dengan Energi rata-rata pertahun sebanyak 3.942 MWh.

5.3.4 Perhitungan Daya dan Energi Rencana III untuk PLTA Tulungagung Selatan.

Rencana III, apabila debit dari bending tiudan dan REM Basin di komulatifkan dan menghasilkan debit rencana III untuk menghasilkan daya yang konstan sepanjang tahun. Berikut merupakan perhitungan :

Tabel 5. 29 Perhitungan Debit rencana III Untuk PLTA Tulungagung Selatan

PLTA TULUNGAGUNG SELATAN										
Periode	JH	DEBIT (m ³ /dt)	VOLUME (m ³)	Vol. Kumulatif (m ³)	DEBIT KONSTAN (m ³ /dt)	VOLUME (m ³)	Vol. Kumulatif (m ³)	Vol. Kumulatif (m ³)		
	1	2	3	4	5	6	7	8		
DES	1	10	31.10	26873671.50	26873671.50	30.00	25920000.00	25920000.00		
	2	10	50.30	43462471.50	70336142.99	30.00	25920000.00	51840000.00		
	3	11	54.68	51971470.65	122307613.64	30.00	28512000.00	80352000.00		
JAN	1	10	55.61	48047086.94	170354700.58	30.00	25920000.00	106272000.00		
	2	10	48.80	42163246.94	212517947.53	30.00	25920000.00	132192000.00		
	3	11	65.07	61842579.64	274360527.16	30.00	28512000.00	160704000.00		
PEB	1	10	75.32	65072847.93	339433375.10	30.00	25920000.00	186624000.00		
	2	10	79.97	69090447.93	408523823.03	30.00	25920000.00	212544000.00		
	3	9	85.07	66147163.14	474670986.16	30.00	23328000.00	235872000.00		
MAR	1	10	73.56	63557641.72	538228627.88	30.00	25920000.00	261792000.00		
	2	10	70.43	60853321.72	599081949.60	30.00	25920000.00	287712000.00		
	3	11	59.29	56351197.89	655433147.50	30.00	28512000.00	316224000.00		
APR	1	10	66.44	57405724.25	712838871.75	30.00	25920000.00	342144000.00		
	2	10	69.37	59937244.25	772776116.01	30.00	25920000.00	368064000.00		
	3	10	43.32	37430044.25	810206160.26	30.00	25920000.00	393984000.00		
MEI	1	10	34.69	29973648.74	840179808.99	30.00	25920000.00	419904000.00		
	2	10	36.37	31425168.74	871604977.73	30.00	25920000.00	445824000.00		
	3	11	24.65	23428997.61	895033975.34	30.00	28512000.00	474336000.00		
JUN	1	10	9.23	7978136.76	903012112.10	35.00	30240000.00	504576000.00		
	2	10	8.59	7425176.76	910437288.85	35.00	30240000.00	534816000.00		
	3	10	7.33	6336536.76	916773825.61	35.00	30240000.00	565056000.00		
JUL	1	10	6.20	5358779.79	922132605.40	35.00	30240000.00	595296000.00		
	2	10	5.71	4935419.79	927068025.19	35.00	30240000.00	625536000.00		
	3	11	5.18	4925249.77	931993274.96	35.00	33264000.00	658800000.00		
AGT	1	10	5.40	4662376.35	936655651.31	35.00	30240000.00	689040000.00		
	2	10	5.97	5154856.35	941810507.66	35.00	30240000.00	719280000.00		
	3	11	5.22	4957541.98	946768049.64	35.00	33264000.00	752544000.00		
SEP	1	10	4.71	4072624.95	950840674.59	35.00	30240000.00	782784000.00		
	2	10	4.23	3657904.95	954498579.54	35.00	30240000.00	813024000.00		
	3	10	2.82	2439664.95	956938244.49	35.00	30240000.00	843264000.00		
OKT	1	10	2.89	2493680.15	959431924.64	35.00	30240000.00	873504000.00		
	2	10	3.38	2917040.15	962348964.79	35.00	30240000.00	903744000.00		
	3	11	3.41	3237256.16	965586220.95	35.00	33264000.00	937008000.00		
NOP	1	10	5.57	4811884.44	970398105.39	35.00	30240000.00	967248000.00		
	2	10	9.38	8103724.44	978501829.83	35.00	30240000.00	997488000.00		
	3	10	22.44	19387564.44	997889394.27	35.00	30240000.00	1027728000.00		
Jumlah			1144.7			1176.0	1027728007.0			
Rata-rata			30.9			31.8	27776432.6			

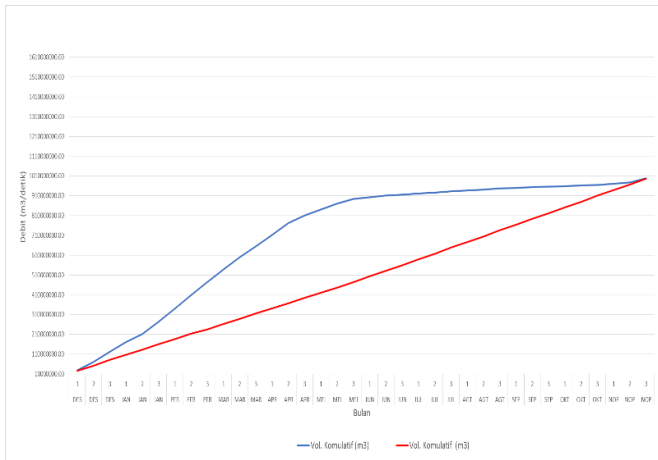


Gambar 5. 6 Skema debit

Penjumlahan debit dari bendung tiudan dan REM Basin dikumulatifkan dan menghasilkan bulan Desember-Mei dengan debit 30 m³/s dan Juni-Nopember dengan debit 35m³/s, dengan cara perhitungan berikut ini:

1. Mencoba-coba debit di bulan Desember hingga Mei sebesar 30 m³/s.
2. Volume komulatif terakhir sebesar : 997889394.27 m³
3. Jumlah volume dari bulan Desember hingga Mei sebesar 474336000 m³
4. Selisih : Vol Komulatif dengan Jumlah volume 6 bulan pertama
Selisih = 997889394.27 m³ - 474336000 m³ = 523553394.27 m³
5. Jumlah hari dari bulan Juni hingga Nopember = 183 hari
6. Debit untuk bulan Juni hingga Nopember :
= 523553394.27 m³ / (183x24x3600) = 33m³/s

Grafik 5. 3 Inflow dan Outflow di komulatifkan



Contoh Perhitungan :

- Desember periode 1

Hitungan Daya:

$$P = \text{Eff. Turbin} \times 9.8 \times Q \times H \quad (\text{Kilo watt})$$

$$P = 0.8 \times 9.8 \times 30.0 \text{ m}^3/\text{s} \times 65 \text{ m}$$

$$P = 15288 \text{ Kw}$$

$$P = 15.29 \text{ MW}$$

Hitungan Energi :

$$E = P \times t$$

$$E = 15.29 \text{ MW} \times (24 \times 10)$$

$$E = 3669 \text{ MWh}$$

Sehingga dengan debit rencana III menghasilkan daya dan energi terbesar mencapai 16.82 MW dan 4440 MWh, Sedangkan daya dan energi terendah terendah sebesar 15.28 MW dan 4036 MWh.

Dengan Energi rata-rata pertahun sebanyak 3.917 MWh.

5.4 Kebutuhan Air untuk PLTA Wonorejo

5.4.1 Perhitungan Daya dan Energi dengan debit RAAT untuk PLTA Wonorejo

Pola RAAT PLTA Wonorejo, dapat dilihat pada tabel 2.8. Dan berikut ini merupakan tabel perhitungan Daya dan Energi PLTA Wonorejo dengan menggunakan debit RAAT.

Tabel 5. 31 Perhitungan PLTA Wonorejo dengan Debit RAAT

PERHITUNGAN PLTA WONOREJO (RAAT)									
BLN/ DKD		JH	Q (m3/dt)	H (m)	Eff	g (m2/s)	Daya (KW)	Daya (MW)	Energi (Mwh)
	1	2	3	4	5	6	7	8	10
D E S	1	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	2	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	3	11	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1495
J A N	1	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	2	10	8.230	61.2	0.8	9.8	3949	3.95	948
	3	11	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1495
P E B	1	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	2	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	3	9	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1223
M A R	1	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	2	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	3	11	8.860	61.2	0.8	9.8	4251	4.25	1122
A P R	1	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	2	10	11.800	61.2	0.8	9.8	5662	5.66	1359
	3	10	7.740	61.2	0.8	9.8	3714	3.71	891
M E I	1	10	7.030	61.2	0.8	9.8	3373	3.37	810
	2	10	5.790	61.2	0.8	9.8	2778	2.78	667
	3	11	4.640	61.2	0.8	9.8	2226	2.23	588
J U N	1	10	4.880	61.2	0.8	9.8	2341	2.34	562
	2	10	4.680	61.2	0.8	9.8	2246	2.25	539
	3	10	4.660	61.2	0.8	9.8	2236	2.24	537
J U L	1	10	4.730	61.2	0.8	9.8	2269	2.27	545
	2	10	4.720	61.2	0.8	9.8	2265	2.26	544
	3	11	4.720	61.2	0.8	9.8	2265	2.26	598

PERHITUNGAN PLTA WONOREJO (Eksisting)									
BLN/DKD		JH	Q (m3/dt)	H (m)	Efisiensi Turbin	g (m2/s)	Daya (KWatt)	Daya (MWatt)	Energi (KWh)
1		2	3	4	5	6	7	8	10
AGT	1	10	5.570	61.2	0.8	9.8	2673	2.67	641
	2	10	5.750	61.2	0.8	9.8	2759	2.76	662
	3	11	5.590	61.2	0.8	9.8	2682	2.68	708
SEP	1	10	5.460	61.2	0.8	9.8	2620	2.62	629
	2	10	5.400	61.2	0.8	9.8	2591	2.59	622
	3	10	4.980	61.2	0.8	9.8	2389	2.39	573
OKT	1	10	5.220	61.2	0.8	9.8	2505	2.50	601
	2	10	5.350	61.2	0.8	9.8	2567	2.57	616
	3	11	5.210	61.2	0.8	9.8	2500	2.50	660
NOP	1	10	6.530	61.2	0.8	9.8	3133	3.13	752
	2	10	5.590	61.2	0.8	9.8	2682	2.68	644
	3	10	9.690	61.2	0.8	9.8	4649	4.65	1116
Rata-rata									917

Contoh Perhitungan :

- Desember periode 1

Hitungan Daya:

$$P = \text{Eff. Turbin} \times 9.8 \times Q \times H \quad (\text{Kilo watt})$$

$$P = 0.8 \times 9.8 \times 11.8 \text{ m}^3/\text{s} \times 61.2 \text{ m}$$

$$P = 5.660 \text{ Kw}$$

$$P = 5,66 \text{ MW}$$

Hitungan Energi :

$$E = P \times t$$

$$E = 5,66 \text{ MW} \times (24 \times 10)$$

$$E = 1359 \text{ MWh}$$

Sehingga dengan debit RAAT menghasilkan daya dan energi terbesar mencapai 5.66 MW dan 1494 MWh, Sedangkan daya dan energi terendah terendah sebesar 2.23 MW dan 536 MWh. Dengan Energi rata-rata pertahun sebanyak 917 MWh.

5.4.2 Perhitungan Daya dan Energi Rencana I PLTA Wonorejo

Rencana I merupakan perencanaan dengan debit tambahan dari DI paingan sehingga menghasilkan daya

Tabel 5. 32 Debit Rencana I untuk PLTA Wonorejo

Bln/ Dkd		JH	PLTA Tul. Selatan		Tiudan				Waduk Wonorejo	
			Outflow (m3/dt)	Inflow (m3/dt)	Outflow (m3/dtk)			Inflow (m3/dt)	Turbin PLTA Wonorejo	Inflow (m3/dt)
					Suplesi	DI Paingan	Untuk PLTA TS			
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	
DES	1	10	25.77	3.50	1.50	1.47	3.50	6.47	6.47	6.47
	2	10	44.94	3.50	1.50	1.44	3.50	6.44	6.44	6.44
	3	11	49.30	3.50	1.50	1.42	3.50	6.42	6.42	6.42
JAN	1	10	50.23	3.50	1.50	1.42	3.50	6.42	6.42	6.42
	2	10	46.99	3.50	1.50	1.42	3.50	6.42	6.42	6.42
	3	11	59.69	3.50	1.50	1.42	3.50	6.42	6.42	6.42
PEB	1	10	69.91	3.50	1.50	1.39	3.50	6.39	6.39	6.39
	2	10	74.56	3.50	1.50	1.39	3.50	6.39	6.39	6.39
	3	9	79.56	3.50	1.50	1.29	3.50	6.29	6.29	6.29
MAR	1	10	68.19	3.50	1.50	1.43	3.50	6.43	6.43	6.43
	2	10	64.93	3.50	1.50	1.30	3.50	6.30	6.30	6.30
	3	11	56.36	3.50	1.50	0.94	3.50	5.94	5.94	5.94
APR	1	10	60.53	3.50	1.50	0.89	3.50	5.89	5.89	5.89
	2	10	63.69	3.50	1.50	1.12	3.50	6.12	6.12	6.12
	3	10	41.96	3.50	1.50	1.38	3.50	6.38	6.38	6.38
MEI	1	10	34.42	3.50	1.50	1.76	3.50	6.76	6.76	6.76
	2	10	37.19	3.50	1.50	1.61	3.50	6.61	6.61	6.61
	3	11	26.60	3.50	1.50	1.59	3.50	6.59	6.59	6.59
JUN	1	10	13.85	5.33	3.00	1.18	5.33	9.51	9.51	9.51
	2	10	13.42	5.33	3.00	1.18	5.33	9.51	9.51	9.51
	3	10	12.18	5.33	3.00	1.18	5.33	9.51	9.51	9.51
JUL	1	10	11.08	5.33	3.00	1.28	5.33	9.61	9.61	9.61
	2	10	10.70	5.33	3.00	1.38	5.33	9.71	9.71	9.71
	3	11	10.17	5.33	3.00	1.38	5.33	9.71	9.71	9.71
AGT	1	10	9.55	5.33	3.00	1.39	5.33	9.72	9.72	9.72
	2	10	9.93	5.33	3.00	1.39	5.33	9.72	9.72	9.72
	3	11	9.35	5.33	3.00	1.39	5.33	9.72	9.72	9.72
SEP	1	10	8.79	5.33	3.00	1.21	5.33	9.54	9.54	9.54
	2	10	8.37	5.33	3.00	1.21	5.33	9.54	9.54	9.54
	3	10	7.38	5.33	3.00	1.21	5.33	9.54	9.54	9.54
OKT	1	10	7.17	5.33	3.00	1.17	5.33	9.50	9.50	9.50
	2	10	7.53	5.33	3.00	1.17	5.33	9.50	9.50	9.50
	3	11	7.70	5.33	3.00	1.17	5.33	9.50	9.50	9.50
NOP	1	10	8.73	5.33	3.00	1.36	5.33	9.69	9.69	9.69
	2	10	13.42	5.33	3.00	1.30	5.33	9.63	9.63	9.63
	3	10	22.18	5.33	3.00	1.10	5.33	9.43	9.43	9.43

Contoh Perhitungan :

- Desember periode 1

Hitungan Daya:

$$P = \text{Eff. Turbin} \times 9.8 \times Q \times H \quad (\text{Kilo watt})$$

$$P = 0.8 \times 9.8 \times 6.47 \text{m}^3/\text{s} \times 61.2 \text{ m}$$

$$P = 3103 \text{ Kw}$$

$$P = 3.10 \text{ MW}$$

Hitungan Energi :

$$E = P \times t$$

$$E = 3.10 \text{ MW} \times (24 \times 10)$$

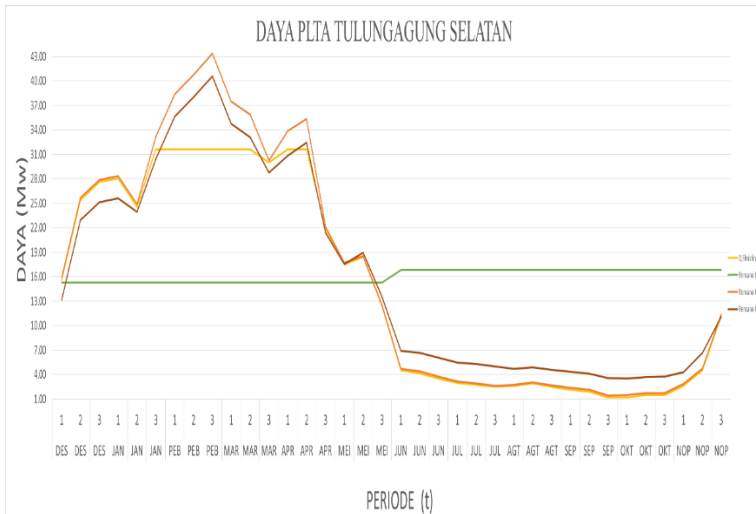
$$E = 745 \text{ MWh}$$

Sehingga dengan debit rencana menghasilkan daya dan energi terbesar mencapai 4.67 MW dan 1231 MWh, Sedangkan daya dan energy terendah terendah sebesar 2.83 MW dan 652 MWh. Dengan Energi rata-rata pertahun sebanyak 934 MWh.

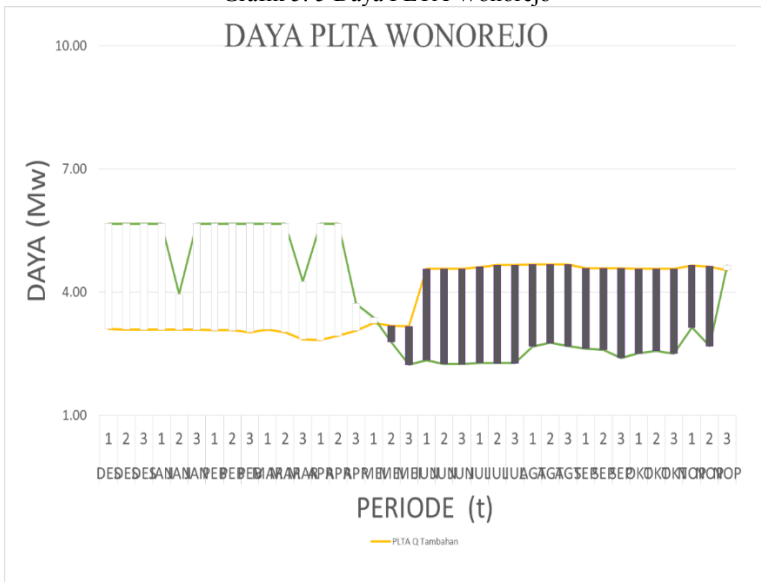
5.5 Rekapitulasi Daya PLTA Tulungagung Selatan dan PLTA Wonorejo

Rekapitulasi Daya									
BLN/DKD	JH	PLTA Tulungagung Selatan				PLTA Wonorejo			
		Daya RAA T (MWatt)	Daya Rencana I (MWatt)	Daya Rencana II (MWatt)	Daya Rencana III (MWatt)	Daya RAA T (MWatt)	Daya Rencana I (MWatt)	Daya Rencana II (MWatt)	Daya Rencana III (MWatt)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DES	1	15.58	15.85	13.13	15.29	5.66	3.10		
	2	25.36	25.63	22.90	15.29	5.66	3.09		
	3	27.59	27.87	25.12	15.29	5.66	3.08		
JAN	1	28.03	28.34	25.60	15.29	5.66	3.08		
	2	24.56	24.87	23.95	15.29	5.66	3.08		
	3	31.60	33.16	30.42	15.29	5.66	3.08		
PEB	1	31.60	38.38	35.63	15.29	5.66	3.07		
	2	31.60	40.75	38.00	15.29	5.66	3.07		
	3	31.60	43.35	40.54	15.29	5.66	3.02		
MAR	1	31.60	37.49	34.75	15.29	5.66	3.08		
	2	31.60	35.89	33.09	15.29	5.66	3.02		
	3	30.02	30.22	28.72	15.29	4.25	2.85		
APR	1	31.60	33.86	30.85	15.29	5.66	2.83		
	2	31.60	35.35	32.46	15.29	5.66	2.94		
	3	21.87	22.08	21.38	15.29	3.71	3.06		
MEI	1	17.55	17.68	17.54	15.29	3.37	3.24		
	2	18.40	18.54	18.95	15.29	2.78	3.17		
	3	12.43	12.56	13.56	15.29	2.23	3.16		
JUN	1	4.49	4.71	6.89	16.82	2.34	4.40		
	2	4.17	4.38	6.67	16.82	2.25	4.40		
	3	3.53	3.74	6.04	16.82	2.24	4.40		
JUL	1	3.00	3.16	5.48	16.82	2.27	4.45		
	2	2.76	2.91	5.28	16.82	2.26	4.50		
	3	2.48	2.64	5.01	16.82	2.26	4.50		
AGT	1	2.60	2.75	4.70	16.82	2.67	4.51		
	2	2.88	3.04	4.89	16.82	2.76	4.51		
	3	2.51	2.66	4.60	16.82	2.68	4.51		
SEP	1	2.16	2.40	4.31	16.82	2.62	4.42		
	2	1.91	2.16	4.10	16.82	2.59	4.42		
	3	1.19	1.44	3.59	16.82	2.39	4.42		
OKT	1	1.21	1.47	3.49	16.82	2.50	4.40		
	2	1.46	1.72	3.67	16.82	2.57	4.40		
	3	1.47	1.74	3.76	16.82	2.50	4.40		
NOP	1	2.59	2.84	4.28	16.82	3.13	4.49		
	2	4.53	4.78	6.67	16.82	2.68	4.46		
	3	1.19	1.44	11.13	16.82	4.65	4.37		
Jumlah		533.3	585.8	586.1	583.9	142.6	143.0		
Rata-rata		14.73	16.16	16.14	16.05	3.77	3.75		

Grafik 5. 4 Daya PLTA Tulungagung Selatan



Grafik 5. 5 Daya PLTA Wonorejo



Pengaruh Optimasi Daerah Irigasi Paingan terhadap Operasional dari PLTA Tulungagung Selatan dan PLTA Tulungagung Selatan yakni,

1. Debit hasil optimasi irigasi kurang dari debit alokasi air tahunan yang direncanakan oleh PJT I, sehingga menghasilkan sisa debit yang dapat membangkitkan daya pada PLTA Tulungagung Selatan, hal ini berpengaruh terhadap peningkatan daya yang dihasilkan oleh PLTA Tulungagung Selatan.

Berikut merupakan daya yang dihasilkan PLTA Tulungagung Selatan :

RAAT : 14.73 MW

Rencana I : 16.16 MW

Rencana II : 16.23 MW

Rencana III : 16.05 MW

2. Dari hasil rekayasa pengaturan debit untuk PLTA Tulungagung Selatan dapat berpengaruh terhadap PLTA Wonorejo, sehingga menghasilkan daya yang konstan sepanjang tahun.

RAAT : 3.77 MW

Rencana I : 3.83 MW

Sehingga dari Optimasi Irigasi menghasilkan daya untuk PLTA Tulungagung Selatan dan PLTA Wonorejo semakin meningkat. Hal ini dapat dibuktikan dari perhitungan kebutuhan air PLTA.

BAB VI

RENCANA EKSPLOITASI WADUK

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomer 35 Tahun 1991 Tentang Sungai Bab IX Pembangunan, Pengelolaan dan Pengamanan Waduk Bagian Kedua Pengelolaan Pasal 16 menyatakan bahwa :

1. Pengelolaan waduk merupakan kegiatan yang terdiri dari eksploitasi dan pemeliharaan waduk
2. Eksploitasi dan pemeliharaan waduk merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menjaga kelangsungan fungsi waduk yang sesuai dengan tujuan pembangunannya.
3. Eksploitasi dan pemeliharaan waduk meliputi kegiatan-kegiatan :
 - a. Pemantauan muka air waduk
 - b. Pengaturan penggunaan waduk untuk masing-masing kebutuhan
 - c. Pengaturan pemeliharaan bendungan
 - d. Pengaturan sistem pelaporan, evaluasi dan gawat banjir
4. Pengelolaan waduk sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dilakukan oleh masing-masing pihak yang membangun waduk yang bersangkutan sesuai dengan pedoman pengoperasian waduk yang ditetapkan oleh menteri dan ketentuan peraturan perundang-perundangan lain yang berlaku.

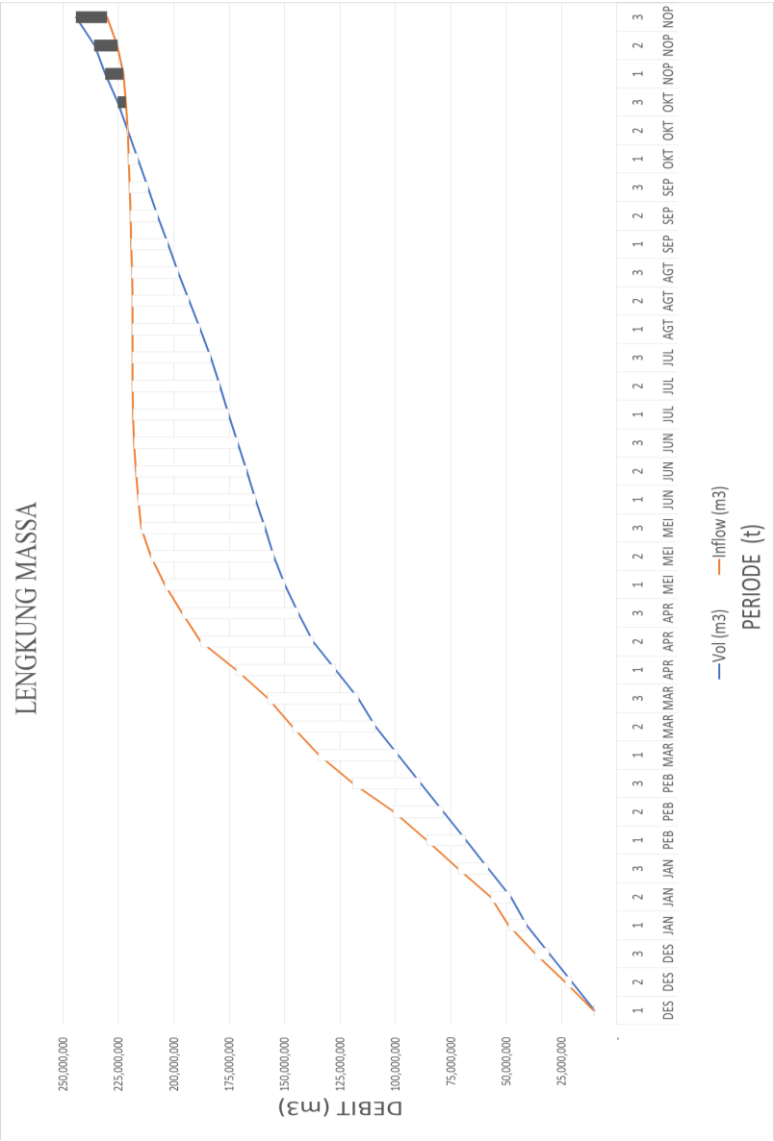
Dalam hal ini, rencana eksploitasi penggunaan air yang optimum pada waduk wonorejo untuk kepentingan Irigasi dan PLTA memiliki suatu sistem. Eksploitasi waduk dimaksudkan untuk pengaturan operasi waduk wonorejo untuk kepentingan tersebut. Berikut ini merupakan alternatif rencana eksploitasi waduk wonorejo ditinjau dari kapasitas waduk.

Berikut ini merupakan lengkung massa waduk wonorejo dengan data eksiting.

Tabel 6. 1 Perhitungan Volume Kumulatif Inflow dan Outflow dari Rencana Alokasi Air Tahunan

Bulan	Periode	Inflow (m ³ /dt)	Vol (m ³)	Volume Kumulatif	Volume rata-rata (m ³)	Outflow (m ³ /dt)	Vol (m ³)	Volume Kumulatif	Volume rata-rata (m ³)
DES	1	12,22	10558080,00	10558080,00	2356920,00	11,80	10,195,200	10,195,200	20390400,00
	2	14,75	23302080,00	33860160,00		11,80	20,390,400	30,585,600	
	3	15,68	36849600,00	70709760,00		11,80	30,585,600	50,976,000	
JAN	1	13,97	48919680,00	119629440,00	59175360,00	11,80	40,780,800	71,366,400	48919680,00
	2	9,30	56954880,00	176584320,00		8,23	47,891,520	88,672,320	
	3	17,01	71651520,00	248235840,00		11,80	58,086,720	105,978,240	
PEB	1	16,56	83959360,00	334195200,00	102015360,00	11,80	68,281,920	126,368,640	78477120,00
	2	17,17	100794240,00	434989440,00		11,80	78,477,120	146,759,040	
	3	21,41	119292480,00	554281920,00		11,80	88,672,320	167,149,440	
MAR	1	17,74	134619840,00	688901760,00	146249280,00	11,80	98,867,520	187,539,840	108216000,00
	2	13,72	146473920,00	835375680,00		11,80	109,062,720	207,930,240	
	3	12,94	157654080,00	993029760,00		8,86	116,717,760	225,780,480	
APR	1	16,38	171806400,00	1164836160,00	185362560,00	11,80	126,912,960	243,630,720	135938880,00
	2	18,70	187963200,00	1352799360,00		11,80	137,108,160	264,021,120	
	3	9,67	196318080,00	1549117440,00		7,74	143,795,520	280,903,680	
MEI	1	8,98	204076800,00	1753194240,00	209756160,00	7,03	149,869,440	293,664,960	154540800,00
	2	7,36	210455840,00	1963630080,00		5,79	154,872,000	304,741,440	
	3	5,00	214755840,00	2178385920,00		4,64	158,880,960	313,752,960	
JUN	1	1,63	216164160,00	2394550080,00	217088640,00	4,88	163,097,280	321,978,240	167135040,00
	2	1,13	217140480,00	2611690560,00		4,68	167,140,800	330,238,080	
	3	0,95	21961280,00	2829651840,00		4,66	171,167,040	338,307,840	
JUL	1	0,52	218410560,00	3048062400,00	218626560,00	4,73	175,253,760	346,420,800	179331840,00
	2	0,37	218730240,00	3266792640,00		4,72	179,331,840	354,585,600	
	3	0,01	218738880,00	3485531520,00		4,72	183,409,920	362,741,760	
AGT	1	0,00	218738880,00	3704270400,00	218802240,00	5,57	188,222,400	371,632,320	193144320,00
	2	0,00	218738880,00	3923009280,00		5,75	193,190,400	381,412,800	
	3	0,22	218928960,00	4141938240,00		5,59	198,020,160	391,210,560	
SEP	1	0,36	219240000,00	4361178240,00	219625920,00	5,46	202,737,600	400,757,760	207282240,00
	2	0,44	219620160,00	4580798400,00		5,40	207,403,200	410,140,800	
	3	0,46	220017600,00	4800816000,00		4,98	211,705,920	419,109,120	
OKT	1	0,53	220475520,00	5021291520,00	221063040,00	5,22	216,216,000	427,921,920	220798080,00
	2	0,53	220933440,00	524224960,00		5,35	220,838,400	437,054,400	
	3	0,98	221780160,00	5464065120,00		5,21	225,339,840	446,178,240	
NOP	1	1,27	222877440,00	5686882560,00	226218240,00	6,53	230,981,760	456,321,600	236992320,00
	2	3,05	225512640,00	5912395200,00		5,59	235,811,520	466,793,280	
	3	5,50	230264640,00	6142659840,00		9,69	244,183,680	479,995,200	

Grafik 6. 1 Grafik Antara Inflow dan Outflow dari Rencana Alokasi Air Tahunan

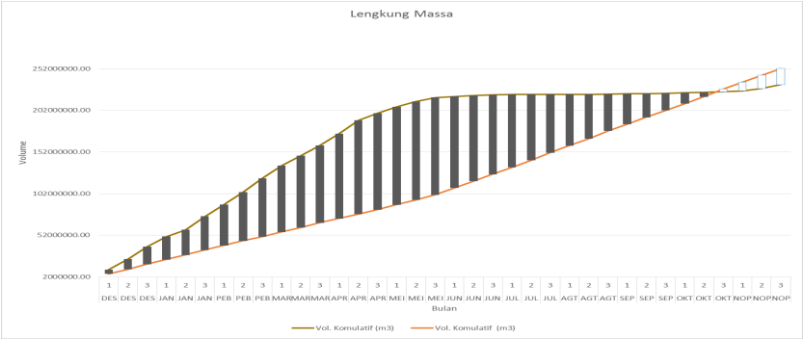


Tabel 6. 2 Rencana Pengaturan Air di Sistem Waduk Wonorejo

Bln/ Dkd		JH	PLTA Tul. Selatan			Tiudan			Waduk Wonorejo		
			Outflow (m3/dt)	Inflow (m3/dt)		Outflow (m3/dtk)			Inflow (m3/dt)	Turbin PLTA Wonorejo	
						Suplesi	DI Paingan	Untuk PLTA TS			
			Turbin	Rem	Dari Tiudan						
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DES	1	10	25.77	22.27	3.50	1.50	1.47	3.50	6.47	6.47	6.47
	2	10	44.94	41.44	3.50	1.50	1.44	3.50	6.44	6.44	6.44
	3	11	49.30	45.80	3.50	1.50	1.42	3.50	6.42	6.42	6.42
JAN	1	10	50.23	46.73	3.50	1.50	1.42	3.50	6.42	6.42	6.42
	2	10	46.99	43.49	3.50	1.50	1.42	3.50	6.42	6.42	6.42
	3	11	59.69	56.19	3.50	1.50	1.42	3.50	6.42	6.42	6.42
PEB	1	10	69.91	66.41	3.50	1.50	1.39	3.50	6.39	6.39	6.39
	2	10	74.56	71.06	3.50	1.50	1.39	3.50	6.39	6.39	6.39
	3	9	79.56	76.06	3.50	1.50	1.29	3.50	6.29	6.29	6.29
MAR	1	10	68.19	64.69	3.50	1.50	1.43	3.50	6.43	6.43	6.43
	2	10	64.93	61.43	3.50	1.50	1.30	3.50	6.30	6.30	6.30
	3	11	56.36	52.86	3.50	1.50	0.94	3.50	5.94	5.94	5.94
APR	1	10	60.53	57.03	3.50	1.50	0.89	3.50	5.89	5.89	5.89
	2	10	63.69	60.19	3.50	1.50	1.12	3.50	6.12	6.12	6.12
	3	10	41.96	38.46	3.50	1.50	1.38	3.50	6.38	6.38	6.38
MEI	1	10	34.42	30.92	3.50	1.50	1.76	3.50	6.76	6.76	6.76
	2	10	37.19	33.69	3.50	1.50	1.61	3.50	6.61	6.61	6.61
	3	11	26.60	23.10	3.50	1.50	1.59	3.50	6.59	6.59	6.59
JUN	1	10	13.85	8.52	5.33	3.00	1.18	5.33	9.51	9.51	9.51
	2	10	13.42	8.09	5.33	3.00	1.18	5.33	9.51	9.51	9.51
	3	10	12.18	6.85	5.33	3.00	1.18	5.33	9.51	9.51	9.51
JUL	1	10	11.08	5.75	5.33	3.00	1.28	5.33	9.61	9.61	9.61
	2	10	10.70	5.37	5.33	3.00	1.38	5.33	9.71	9.71	9.71
	3	11	10.17	4.84	5.33	3.00	1.38	5.33	9.71	9.71	9.71
AGT	1	10	9.55	4.22	5.33	3.00	1.39	5.33	9.72	9.72	9.72
	2	10	9.93	4.60	5.33	3.00	1.39	5.33	9.72	9.72	9.72
	3	11	9.35	4.02	5.33	3.00	1.39	5.33	9.72	9.72	9.72
SEP	1	10	8.79	3.46	5.33	3.00	1.21	5.33	9.54	9.54	9.54
	2	10	8.37	3.04	5.33	3.00	1.21	5.33	9.54	9.54	9.54
	3	10	7.38	2.05	5.33	3.00	1.21	5.33	9.54	9.54	9.54
OKT	1	10	7.17	1.84	5.33	3.00	1.17	5.33	9.50	9.50	9.50
	2	10	7.53	2.20	5.33	3.00	1.17	5.33	9.50	9.50	9.50
	3	11	7.70	2.37	5.33	3.00	1.17	5.33	9.50	9.50	9.50
NOP	1	10	8.73	3.40	5.33	3.00	1.36	5.33	9.69	9.69	9.69
	2	10	13.42	8.09	5.33	3.00	1.30	5.33	9.63	9.63	9.63
	3	10	22.18	16.85	5.33	3.00	1.10	5.33	9.43	9.43	9.43

Tabel 6. 3 Perhitungan Kumulatif Inflow dan Outflow Rencana rekayasa

	Periode	JH	DEBIT INFLOW (m ³ /dt)	VOLUME	Vol. Kumulatif (m ³)	DEBIT OUTFLOW (m ³ /dt)	VOLUME	Vol. Kumulatif (m ³)
				(m ³)			(m ³)	
	1	2	3	4	5	6	7	8
DES	1	10	12.22	10558080.00	10558080.00	6.47	5586808.50	5586808.50
	2	10	14.75	12744000.00	23302080.00	6.44	5560888.50	11147697.01
	3	11	15.68	14902272.00	38204352.00	6.42	6097969.35	17245666.36
JAN	1	10	13.97	12070080.00	50274432.00	6.42	5546833.06	22792499.42
	2	10	9.30	8035200.00	58309632.00	6.42	5546833.06	28339332.47
	3	11	17.01	16166304.00	74475936.00	6.42	6101516.36	34440848.84
PEB	1	10	16.56	14307840.00	88783776.00	6.39	5524592.07	39965440.90
	2	10	17.17	14834880.00	103618656.00	6.39	5524592.07	45490032.97
	3	9	21.41	16648416.00	120267072.00	6.29	4894372.86	503844032.84
MAR	1	10	17.74	15327360.00	135594432.00	6.43	5553718.28	55938124.12
	2	10	13.72	11854080.00	147448512.00	6.30	5441398.28	61379522.40
	3	11	12.94	12298176.00	159746688.00	5.94	5643394.11	67022916.50
APR	1	10	16.38	14152320.00	173899008.00	5.89	5087395.75	72110312.25
	2	10	18.70	16156800.00	190055808.00	6.12	5286115.75	77396427.99
	3	10	9.67	8354880.00	198410688.00	6.38	5510755.75	82907183.74
MEI	1	10	8.98	7758720.00	206169408.00	6.76	5839151.26	88746335.01
	2	10	7.36	6359040.00	212528448.00	6.61	5709551.26	94455886.27
	3	11	5.00	4752000.00	217280448.00	6.59	6261498.39	100717384.66
JUN	1	10	1.63	1408320.00	218688768.00	9.51	8213223.24	108930607.90
	2	10	1.13	976320.00	219665088.00	9.51	8213223.24	117143831.15
	3	10	0.95	820800.00	220485888.00	9.51	8213223.24	125357054.39
JUL	1	10	0.52	449280.00	220935168.00	9.61	8301060.21	133658114.60
	2	10	0.37	319680.00	221254848.00	9.71	8387460.21	142045574.81
	3	11	0.01	9504.00	221264352.00	9.71	9226206.23	151271781.04
AGT	1	10	0.00	0.00	221264352.00	9.72	8401303.65	159673084.69
	2	10	0.00	0.00	221264352.00	9.72	8401303.65	168074388.34
	3	11	0.22	209088.00	221473440.00	9.72	9241434.02	177315822.36
SEP	1	10	0.36	311040.00	221784480.00	9.54	8239375.05	185555197.41
	2	10	0.44	380160.00	222164640.00	9.54	8239375.05	193794572.46
	3	10	0.46	397440.00	222562080.00	9.54	8239375.05	202033947.51
OKT	1	10	0.53	457920.00	223020000.00	9.50	8211279.85	210245227.36
	2	10	0.53	457920.00	223477920.00	9.50	8211279.85	218456507.21
	3	11	0.98	931392.00	224409312.00	9.50	9032407.84	227488915.05
NOP	1	10	1.27	1097280.00	225506592.00	9.69	8372755.56	235861670.61
	2	10	3.05	2635200.00	228141792.00	9.63	8320915.56	244182586.17
	3	10	5.50	4752000.00	232893792.00	9.43	8148115.56	252330701.73
Jumlah			269.5	232893796.0		293.2	252330708.7	
Rata-rata			7.3	6294426.9		7.9	6819748.9	



Grafik 6. 2Grafik antara Inflow dan Outflow Rencana rekayasa

Dalam Tabel 6.1 Perhitungan Volume Komulatif Inflow dan Outflow RAAT diketahui bahwa Volume Rencana Alokasi sebesar 55.296 m³, sedangkan pada Tabel 6. 4 Perhitungan Komulatif Inflow dan Outflow Rencana menghasilkan volume kebutuhan rencana rekayasa sebesar 89.422 m³. Untuk Kapasitas efektif waduk wonorejo sebesar 97.02 juta m³, sehingga volume kebutuhan rencana masih memenuhi kapasitas efektif waduk wonorejo.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil optimasi pada Rencana Eksploitasi Penggunaan Air Optimum pada Sub-Sistem Waduk Wonorejo untuk Kepentingan Irigasi Paingan, PLTA Wonorejo dan PLTA Tulungagung Selatan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil optimasi Irigasi di DI Paingan menghasilkan sebagai berikut :
 - Pola tanam : Padi-Padi-Padi dan Tebu dalam satu tahun
 - Keuntungan Produksi : Rp. 7.810.150.000
 - Intensitas Tanam : 300 %
2. Daya dan Energi
PLTA Tulungagung sesuai,
RAAT : 14.73 MW dan 3586 MWh
Rencana I : 16.16 MW dan 3924 MWh
Rencana II : 16.23 MW dan 3942 MWh
Rencana III: 16.05 MW dan 3917 MWh
PLTA Wonorejo sesuai,
RAAT : 3.77 MW dan 917 MWh
Rencana I : 3.83 MW dan 934 MWh
3. Volume kebutuhan Rencana Alokasi sebesar 55296m³ dan Volume kebutuhan Rencana rekayasa sebesar 89422.3 m³, dengan Volume Efektif Waduk Wonorejo 97.02 Juta m³.

6.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan berdasarkan hasil kesimpulan studi yang telah diperoleh antara lain sebagai berikut :

1. Jika pola tanam hasil optimasi ini ingin diterapkan, pihak terkait, dalam hal ini sebaiknya melakukan pendekatan terlebih dahulu kepada petani untuk mendapat persetujuan petani terkait perubahan pola tanam tersebut.

2. Secara eksistig pola tata tanam DI Paingan yakni padi-adi polowijo, setelah dilakukan optimasi irigasi pola tata tanamp berubah menjadi padi-padi-padi dan tebu sepanjang tahun dengan debit yang masih tersisa. Hal ini perlu dikaji ulang pada periode ketiga mengalami perubahan pola tata tanam, yang mungkin saat periode ketiga debit penggunaan air untuk irigasi tidak sesuai dengan debit yang dialokasikan dan kemungkinan factor tingkat kesuburan tanah pada DI Paingan.
3. Untuk mengetahui apakah hasil yang dicapai sudah benar-benar optimal, disarankan kepada mahasiswa lain yang ingin memperdalam lagi subjek ini untuk mencoba berbagai alternatif pola tanam yang lain dan dicocokkan dengan data kondisi lapangan yang terbaru dan membahas suplesi untuk kebutuhan air baku Surabaya.
4. Berdasarkan dari Rencana Alokasi Air Tahunan debit untuk PLTA Tulungagung selatan sangatlah melimpah, penulis menyarankan agar pihak yang terkait dalam mengelola PLTA Tulungagung Selatan agar membuat sebuah tampungan yang berada pada outlet pembuangan PLTA. Yang debit inflownya berasal dari hasil pembuangan dari PLTA. Hal ini dilakukan agar debit hasil operasi PLTA tidak terbuang sia-sia ke laut dan dapat digunakan untuk memperbesar daya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1986. KP 01. Jakarta: Pekerjaan Umum Pengairan.
- Anonim. 1986. KP 01 Lampiran 2. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Pengairan.
- Anonim. 1986. KP 01 Penunjang. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Pengairan.
- Anonim. 1991. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 1991 Tentang Sungai. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Manual Prosedur Bendungan Wonorejo. 2006. Malang: Perum Jasa Tirta I.
- Patty, O.F., Ir. 1995. Tenaga Air, Erlangga, Jakarta.
- Sosrodarsono, S., & Kensaku, T. 1985. Hidrologi untuk Pengairan. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Suharjoko, 2017, Analisa Linear Programing untuk Optimasi Rencana Pola Tata Tanam DI Gondang Kabupaten Tegal, Jawa Tengah, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW).
- Triatmodjo, Bambang. 2009. Hidrologi Terapan, Beta Offset, Yogyakarta.

BIODATA PENULIS



Ettie Dwi Pratiwi lahir di Surabaya, 08 Desember 1994, merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Suhartono, SE dan Lilik Hermiati. Jenjang pendidikan penulis dimulai dari SDI KH.M Noer Surabaya. Selanjutnya SMP Negeri 15 Surabaya dan SMA Negeri 4 Surabaya. Penulis meneruskan pendidikan formalnya di jurusan Diploma Teknik Sipil FTSP ITS pada tahun 2013 hingga 2016. Dengan tugas akhir berjudul “Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih di Kecamatan Lamongan PDAM Kabupaten Lamongan”. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan lanjut jenjang DIV Teknik Infrastruktur Sipil ditahun 2016.

Penulis sangat terbuka untuk berdiskusi mengenai tugas akhir terapan ini. Penulis dapat dihubungi melalui email: ettiedwipratiwi88@gmail.com

